



**Universidad Tecnológica
de Pereira**

**PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN
RADIODIAGNÓSTICO CONVENCIONAL E INTERVENCIONISMO,
PARA EL REGISTRO HISTORIAL DIGITAL DOSIMÉTRICO DE LOS
TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS (TOE's) A
RADIACIONES IONIZANTES EN UNA INSTALACIÓN
RADIOLÓGICA CATEGORIA II.**

DIEGO LUIS MONTUFAR HIDALGO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN INSTRUMENTACIÓN FÍSICA
PEREIRA
2019

**PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN RADIODIAGNÓSTICO
CONVENCIONAL E INTERVENCIONISMO, PARA EL REGISTRO HISTORIAL
DIGITAL DOSIMÉTRICO DE LOS TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE
EXPUESTOS (TOE's) A RADIACIONES IONIZANTES EN UNA INSTALACIÓN
RADIOLÓGICA CATEGORIA II.**

DIEGO LUIS MONTUFAR HIDALGO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Instrumentación Física

Director:

OMAR ENRIQUE PATIÑO CORREA
MSc. en Física Médica
Experto en Protección Radiológica
Esp. Salud y seguridad en el trabajo y control de riesgos

Línea de Investigación:
Ingeniería Biomédica y Física Médica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN INSTRUMENTACIÓN FÍSICA
PEREIRA, RISARALDA
2019

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada en primer lugar a Dios, por haberme permitido llegar a este punto de mi vida, brindándome la salud, la perseverancia para lograr todos los objetivos que en el transcurso de este tiempo me he propuesto, además por brindarme el amor y las fuerzas para nunca desistir.

A mis familiares son las personas que me ha brindado su apoyo incondicional, han estado presente en los momentos felices y tristes de mi vida, por sus buenos consejos, la motivación constante, y que gracias a los valores que me ha inculcado ha hecho de mí una persona de bien.

*Quiero dedicar este trabajo
A Dios por escuchar mis oraciones y permitirme
cumplir cada logro que me he propuesto, a mis
padres infinitas gracias por todo ese amor, por
ese cariño y todo el esfuerzo que han puesto para
que cada día sea una mejor persona por
apoyarme en los momentos que más he
necesitado.*

Diego Luis

AGRADECIMIENTOS

Gracias primordialmente a Dios por darme la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad de para ejercer este proyecto.

A mis padres por todo su apoyo, comprensión y confianza.

A mis familiares por brindarme todo su apoyo para que este proyecto se lleve a cabo.

A mi hija Isabella, a quien muchas noches no pude dedicarle todo el tiempo que ella se merecía, sin embargo, se sentaba conmigo para apoyarme durante estos años de estudio constante.

A mis profesores por su compromiso, empeño y todo su conocimiento hacia mí y así mismo a la Universidad Tecnológica de Pereira por permitirme ser cada día mejor persona.

A la Clínica Los Rosales S.A. por prestar su nombre, sus instalaciones y la documentación necesaria para llevar a cabo esta labor de investigación.

Al grupo de la maestría en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira por incluirme en este proyecto y permitirme realizar esta labor, además de contar con el apoyo académico y la información requerida.

Al MSc. Omar Enrique Patiño Correa, por ser mi orientador, por el tiempo, la dedicación y por sus valiosos aportes y correcciones en forma y profundidad, y por creer todo el tiempo que este tipo de proceso debe de establecerse y socializarse para el bien del gremio de la Física Médica y del personal que trabaja con radiaciones ionizantes.

Diego Luis

RESUMEN

El continuo crecimiento del uso de radiaciones ionizantes obliga a mantener una adecuada gestión de la medida o evaluación de la magnitud de las dosis impartidas a los trabajadores ocupacionalmente expuestos en cada procedimiento realizado.

Ante la falta de instituciones o entes comprometidos con la formación y entrenamiento en protección radiológica para su regulación, hacen que el presente trabajo plantee como objetivo principal una estrategia para analizar y sistematizar por medio del desarrollo de una herramienta informática, el control y vigilancia de las exposiciones a radiación ionizante a TOE's involucrados en actividades de práctica médica de la Clínica Los Rosales.

El marco referencial soporta gran parte de los objetivos específicos, este marco es conformado por el marco histórico, conceptual, teórico y legal, en los cuales se suministra información relevante sobre cómo se origina la protección radiológica, conceptos básicos sobre radiación ionizante, unidades y magnitudes dosimétricas, protección radiológica, efectos biológicos de la radiación ionizante, teorías sobre la estructura atómica, radiación electromagnética, interacción de la radiación con la materia y dosimetría personal externa. Además de ello, se presenta en este capítulo la normatividad nacional que regulan el uso de radiaciones ionizantes y algunas publicaciones y recomendaciones internacionales.

El diseño de este trabajo fue la revisión sistemática de tipo observacional y retrospectivo. Se utilizaron varias bases de datos, entre las cuales están: Scielo, Elsevier, libros científicos y artículos de divulgación científica en revistas indexadas. La metodología se desarrolla cualitativa y cuantitativamente a través de los reportes dosimétricos que son entregados a la Clínica Los Rosales para la práctica clínica en el uso de rayos X. El tipo de investigación que se aplica al trabajo es descriptivo, por cuanto a través de este se aplicará y se detallará propiedades, características, perfiles de personas, objetos, procesos o fenómenos que se someten a un análisis con el fin de recolectar medir y evaluar datos sobre las diferentes variables de la investigación.

Esta investigación fue también una de tipo propositiva a razón de que el resultado esperado de la misma implicó la solución de un problema o la satisfacción de una necesidad presentada en el entorno. La investigación implicó también un proceso experimental y a la vez apoyo de expertos que permitieron que dicha investigación se desarrollara mediante procesos experimentales para el cumplimiento de los objetivos.

ABSTRACT

The continuous growth of the use of ionizing radiation obligates to maintain an adequate management of the measure or evaluation of the magnitude of the doses given to the exposed occupational workers in each procedure performed.

In the absence of institutions or entities committed to education and training in radiation protection for norm regulation, it is necessary to count on studies like this one whose main objective is to propose a strategy to analyze and systematize through the development of a computer tool the control and surveillance of exposures to ionizing radiation to the involved TOE's in medical practice activities of Los Rosales Clinic.

The referential framework supports a large part of the specific objectives. This framework is shaped by the historical, conceptual, theoretical and legal framework, in which relevant information is provided on how the radiological protection originates, basic concepts about ionizing radiation, units and dosimetric quantities, radiological protection, biological effects of ionizing radiation, theories about atomic structure, electromagnetic radiation, interaction of radiation with matter and external personal dosimetry. In addition to this, the national regulations governing the use of ionizing radiation and some international publications and recommendations are presented in this chapter.

The design of this work was the systematic review of observational and retrospective type. Several databases were used, among which are: Scielo, Elsevier, scientific books and articles of scientific dissemination in indexed journals. The methodology is developed qualitatively and quantitatively through the dosimetric reports that are delivered to Los Rosales Clinic for clinical practice in the use of X-rays. The type of research that is applied to the work is descriptive, because through this one, characteristics, profiles of people, objects, processes or phenomena that are subjected to an analysis are applied and detailed in order to collect measurements and evaluate data on the different research variables.

This investigation was also one of a proactive type because the expected result of the study implies the solution of a problem or the fulfilment of a need presented in the environment. The research also involved an experimental process and at the same time it involved some support from experts that allowed this research to be carried out through experimental processes to achieve the objectives.

CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
ÍNDICE DE TABLAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS	13
INTRODUCCIÓN	14
1. TÍTULO.....	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2.1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	17
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
2.3. JUSTIFICACION.....	20
3. OBJETIVOS	23
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. MARCO REFERENCIAL.....	24
4.1. MARCO HISTORICO.....	24
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	27
4.3. MARCO TEÓRICO	49
4.4. MARCO LEGAL	62
5. DISEÑO METODOLÓGICO	68
5.1. TIPO DE ESTUDIO.....	68
5.2. UNIDAD DE ANÁLISIS	68
5.3. SELECCIÓN DEL DISEÑO	68
5.4. LUGAR	68
5.5. UNIVERSO	69
5.6. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	69
5.7. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	69
5.8. VARIABLE.....	69
5.9. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	69
6. CRONOGRAMA.....	76
7. FASE DE INVESTIGACIÓN	77
7.1. DESCRIPCIÓN DE LOS QUIRÓFANOS.....	78
7.2. PERSONAL INVOLUCRADO EN PROCEDIMIENTOS E INTERVENCIONES EN LAS CUALES SE HACE USO DEL INTENSIFICADOR DE IMAGEN	82
7.3. PROCEDIMIENTOS E INTERVENCIONES QUIRÚRGICOS EN LOS CUALES SE HACE USO DE RADIACIÓN IONIZANTE	83

7.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS GENERADORES DE RADIACIÓN IONIZANTE, INTENSIFICADORES DE IMAGEN	84
7.5. ELEMENTOS PERSONALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	90
7.6. DESCRIPCIÓN DEL USO DE LOS INTENSIFICADORES DE IMAGEN EN LAS INTERVENCIONES QUIRÚRGICAS; TIEMPOS DE EXPOSICIÓN Y NÚMERO DE DISPAROS CONTINUOS.....	92
7.7. SIMULACIÓN GRÁFICA DE PROCEDIMIENTOS E INTERVENCIONES REALIZADOS EN LAS SALAS DE CIRUGÍA.....	98
8. FASE DE DISEÑO Y DESARROLLO	101
8.1. INTERPRETACIÓN DE LOS REPORTES DOSIMÉTRICOS.....	101
8.2. TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA.....	103
8.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA.....	105
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES.....	124
ANEXO A	125
BILIOGRAFÍA.....	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Rayos X.....	27
Ilustración 2. Los rayos X dentro del espectro electromagnético.....	28
Ilustración 3. La carcasa del tubo de rayos X absorbe gran parte de la radiación generada en el ánodo.	29
Ilustración 4. Esquema del interior de una ampolla de rayos X.	30
Ilustración 5. Ánodo fijo y rotatorio.....	31
Ilustración 6. La relación entre corriente de filamento y corriente de tubo es dependiente de la tensión aplicada entre cátodo y ánodo (kV).	33
Ilustración 7. Electrones acelerados por el núcleo cargado positivamente.....	33
Ilustración 8. Representación gráfica de la emisión de un fotón de rayos X característico.	34
Ilustración 9. Representación gráfica de la emisión de fotones de rayos X de frenado.	35
Ilustración 10. Arco en C.	43
Ilustración 11. Esquema de la fluoroscopia.	44
Ilustración 12. Trébol magenta sobre amarillo, símbolo internacionalmente aceptado para radiación.	46
Ilustración 13. Estructura atómica.....	50
Ilustración 14. Tubo de rayos catódicos con campo eléctrico perpendicular a la dirección de los rayos catódicos y a un campo magnético externo.....	50
Ilustración 15. Los tres tipos de rayos emitidos por elementos radiactivos.	52
Ilustración 16. Componentes del campo eléctrico y del campo magnético de una onda electromagnética.....	53
Ilustración 17. Espectro electromagnético.....	54
Ilustración 18. Absorción fotoeléctrica.	56
Ilustración 19. Dispersión Compton.....	57
Ilustración 20. Dosímetros termoluminiscentes.	59
Ilustración 21. Esquema del mecanismo de la termoluminiscencia.....	60
Ilustración 22. Sala de cirugía No. 2.	79
Ilustración 23. Boceto quirófano No. 2.....	80
Ilustración 24. Sala de cirugía No. 3.	81
Ilustración 25. Boceto quirófano No. 3.....	82
Ilustración 26. Intensificador de imagen General Electric.....	86
Ilustración 27. Improntas del equipo General Electric.....	87
Ilustración 28. Intensificador de imagen Siemens.....	89
Ilustración 29. Improntas del equipo Siemens.	90
Ilustración 30. Elementos de protección personal.	91
Ilustración 31. Elementos de protección personal en un procedimiento de columna.	92
Ilustración 32. Elementos de protección personal en un procedimiento de cráneo.	92
Ilustración 33. Registro uso del intensificador de imagen REG-CX-54.....	94
Ilustración 34. Boceto simulación Neurocirugía.	98
Ilustración 35. Boceto simulación Ortopedia.....	99
Ilustración 36. Diagrama de flujo de la herramienta informática.	107
Ilustración 37. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Menú Principal.	108
Ilustración 38. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Gestión de TOE's.	108
Ilustración 39. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Información TOE's.....	109
Ilustración 40. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Usuarios.	109
Ilustración 41. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Historial Dosimétrico.	110
Ilustración 42. Ejecutable DosiTOE's 1.0.	111
Ilustración 43. Login de acceso.	112
Ilustración 44. Login de acceso, acceso correcto.	112
Ilustración 45. Login de acceso, acceso incorrecto.	113
Ilustración 46. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Menú principal.....	114
Ilustración 47. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Gestión de TOE's.....	115
Ilustración 48. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Información de TOE's.	115
Ilustración 49. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico.	116
Ilustración 50. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico, Reporte Nuevo Usuario.	117
Ilustración 51. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico, Ver Alertas en Colores.	118
Ilustración 52. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico Cristalino.	118
Ilustración 53. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Usuarios.....	119

Ilustración 54. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Documentos de Interés.	120
Ilustración 55. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Información Sobre Dosimetría.	120
Ilustración 56. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Créditos y Soporte.	121

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2. Energía cinética de los electrones acelerados en el cátodo.	27
Ecuación 3. Energía de un fotón.....	28
Ecuación 4. Energía del fotón más energético posible.	34
Ecuación 5. Fluencia.	36
Ecuación 6. Fluencia de energía.	37
Ecuación 7. KERMA.	37
Ecuación 8. Energía impartida.....	37
Ecuación 9. Dosis absorbida.	38
Ecuación 10. Exposición.....	38
Ecuación 11. Tasa de exposición.	39
Ecuación 12. Ponderación de tejido.	39
Ecuación 13. Dosis equivalente.....	40
Ecuación 14. Dosis efectiva.....	40
Ecuación 15. Dosis a un órgano.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límite de dosis.....	19
Tabla 2. Energías de enlace en los distintos orbitales del tungsteno, elemento más habitual de los ánodos de los tubos de rayos X.....	35
Tabla 3. Factor de ponderación de la radiación WR	39
Tabla 4. Factor de ponderación de Tejido WT	40
Tabla 5. Metodología.....	75
Tabla 6. Cronograma.....	76
Tabla 7. TOE's involucrados en procedimientos e intervenciones en las cuales se hace uso de radiación ionizante.....	83
Tabla 8. Procedimientos semanales en los que se utilizan los intensificadores de imagen.	93
Tabla 9. tiempos de exposición y número de disparos continuos por procedimiento asistido.	97

LISTA DE ABREVIATURAS

(ALARA) As Low As Reasonably Achievable (Tan bajo como sea razonablemente posible)

(CSN) Consejo de Seguridad Nuclear de España

(DAP) Dose Area Product. (Producto Dosis Área)

(EPR) Elementos de Protección Radiológica

(GSG) General Safety Requirements (Requisitos generales de seguridad)

(ICRP) International Commission on Radiological Protection. (Comisión Internacional de Protección Radiológica)

(IR) Radiología Intervencionista

(kV) Kilo voltaje

(mA) Miliamperios

(mGy) mili gray

(mSv) Mili Sievert

(NBS) Normas Básicas de Seguridad

(NCRP) National Council on Radiation Protection and measurements (Concejo Nacional de Protección y Medidas de Radiación)

(OIEA) Organismo Internacional de Energía Atómica

(OMS) Organización Mundial de la Salud

(ONU) Organización de las Naciones Unidas

(OPR) Oficial de Protección Radiológica

(PR) Protección Radiológica

(RI) Radiaciones Ionizantes

(TOE) Trabajador Ocupacionalmente Expuesto

INTRODUCCIÓN

El uso médico de la radiación ionizante se encuentran entre las aplicaciones más antiguas de la radiación, los profesionales de la medicina se han dado cuenta de sus aplicaciones provechosas [1]. A lo largo de los años, los beneficios como los factores negativos que pueden desencadenar el uso de radiaciones ionizantes y la exposición prolongada de éstas en medicina, han hecho que este tipo de prácticas se vigilen y controlen cada vez más para proteger la integridad del ser humano. Debido a que las radiaciones ionizantes son un factor indetectable por los sentidos del ser humano, estos generan un alto riesgo en la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos, del público y de los pacientes. Por lo anterior, se presentará en este trabajo, el desarrollo de una herramienta informática con enfoque en el registro digital dosimétrico a la exposición de rayos X.

El uso de los rayos X ha sido la herramienta más importante desde hace más de un siglo para obtener imágenes del interior de cuerpo humano, para prácticas que requieran intervención médica, para diagnosticar enfermedades o lesiones, y dado a que en estos procedimientos se imparte energía capaz de ionizar los átomos de los tejidos, se pueden presentar efectos adversos de la exposición a la radiación por la energía absorbida (dosis) en un tejido, como por ejemplo; la carcinogénesis (habilidad de producir cáncer), mutagénesis (habilidad de inducir mutaciones genéticas), y teratogénesis (probabilidad de incrementar malformaciones al nacer)[2]. Los accidentes y los incidentes que se han reportado en radiología, las medidas que se deben tomar para reducir al mínimo los riesgos al personal, y así evitar cualquier exposición a la radiación son parte fundamental del estudio de la protección radiológica.

La aplicación médica, entre todas las prácticas que involucran radiación ionizante, es responsable de la más alta contribución de la exposición de la población[1]. Por lo anterior, organismos internacionales como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y entre otros, trabajan conjuntamente con un solo fin, el de proponer normas básicas y recomendaciones de referencia para todos los países y que permitan la aplicación óptima y adecuada de las técnicas radiológicas para lograr un mayor beneficio en el paciente y la sociedad en cuanto a la reducción efectiva de la exposición médica, ocupacional y de la población.

Según la IAEA, en el año 2008, el número anual estimado de procedimientos radiológicos de diagnóstico e intervención (incluido el dental) fue de 3.600 millones y que alrededor del 78 % de las exposiciones para diagnóstico se deben al uso de los rayos X en medicina, el número de tales procedimientos ha seguido aumentando desde entonces[1].

Una de las principales funciones de la protección radiológica es la de garantizar un grado apropiado de seguridad al ser humano en general, para controlar la exposición limitada a las radiaciones. La protección radiológica surge de la necesidad de proteger a los individuos, sus descendientes y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Su objetivo es, por tanto, prevenir la producción de efectos biológicos deterministas y limitar la probabilidad de incidencia de efectos biológicos probabilísticos hasta valores que se consideren aceptables[3].

Actualmente, existe consenso en la comunidad internacional, tanto en la necesidad como en los beneficios del registro sistemático y planificado de los indicadores de dosis a los trabajadores ocupacionalmente expuestos en las prácticas médicas con radiación ionizante, con principal interés en el registro y seguimiento de las técnicas y procedimientos que pueden implicar un mayor riesgo para aquellos, derivado del uso de la radiación. Este registro debe ser planificado con la estructura y herramientas necesarias para que se tenga en cuenta la seguridad radiológica del trabajador, permitiéndole acceder a la información más relevante del registro, con el objeto de justificar adecuadamente la petición de los nuevos estudios a realizar.

Como consecuencia, las exposiciones médicas a la radiación se han convertido en un componente significativo de la exposición radiológica total de las poblaciones.

1. TÍTULO

PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN RADIODIAGNÓSTICO CONVENCIONAL E INTERVENCIONISMO, PARA EL REGISTRO HISTORIAL DIGITAL DOSIMÉTRICO DE LOS TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUESTOS (TOE's) A RADIACIONES IONIZANTES EN UNA INSTALACIÓN RADIOLÓGICA CATEGORIA II.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Toda nacionalidad tiene como deber interno elaborar y aplicar una normatividad que regule la seguridad ante la exposición a radiación ionizante, debido a que el riesgo asociado a esta exposición afecta la salud y la calidad de vida de todas las personas sujetas a procedimientos donde se utilice componentes radioactivos. Los estados miembros del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) al firmar el acuerdo de compromiso están obligados a cumplir con los requerimientos establecidos y toda la normativa internacional requerida sobre seguridad ante esta exposición. Las normas internacionales de seguridad ayudan a los estados a cumplir su compromiso sobre los principios generales relacionadas con la protección de la vida del ser humano y su entorno medioambiental[1]. Es por lo anterior que todas las instituciones prestadoras de servicios de salud basan sus lineamientos, normas y protocolos de intervención en salud teniendo en cuenta las recomendaciones del OIEA y la ICRP cuando se traten temas relacionados a protección radiológica.

La radiación ionizante se ha convertido en notable importancia en diferentes prácticas médicas como lo son radiodiagnóstico, intervencionismo, medicina nuclear y radioterapia en el ámbito de la medicina. Sin embargo, el uso de esta radiación implica acertar en un equilibrio constante entre los beneficios de ayudar a mejorar la salud humana y los riesgos que desencadenan la exposición no solo en los pacientes sino también en los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE). Se entiende por trabajador ocupacionalmente expuesto a todo profesional del sector clínico capacitado para atender los problemas de salud de los pacientes según las diferentes especialidades de las ciencias de la salud. La Organización Mundial de Salud (OMS) define trabajador sanitario, como toda persona que lleva a cabo actividades que buscan promover, recuperar y mantener la salud[4].

Debido a lo anterior, el control de dichas exposiciones hace necesaria la evaluación de la magnitud de las dosis impartidas a las personas involucradas en tales actividades de práctica médica. La Dosimetría Personal es la medida o evaluación de la dosis de radiación recibida individualmente por cada uno de los trabajadores ocupacionalmente expuestos y constituye una parte fundamental de la práctica de la Protección Radiológica ya que contribuye a su objetivo principal que es asegurar un nivel apropiado de protección de las personas sin limitar de forma indebida las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición a radiaciones[5].

Cabe recordar que las radiaciones ionizantes incrementan la probabilidad de contraer cáncer[6], así lo explican los estudios y publicaciones realizadas en las recomendaciones 2007 de la ICRP en su publicación 103. Es así como en el caso del cáncer, los estudios epidemiológicos y experimentales proporcionan evidencia

del riesgo de la radiación a dosis de alrededor de 100 mSv o menores, aunque con incertidumbres. En el caso de enfermedades heredables, aunque no existe evidencia directa de los riesgos de la radiación en las personas, las observaciones experimentales argumentan convincentemente que esos riesgos para las futuras generaciones deberían estar incluidos en el sistema de protección[7].

Por lo anterior, la protección y seguridad radiológica mediante la aplicación de sus principios, se ha convertido en una práctica importante para minimizar en lo posible los daños o efectos deterministas que generan la exposición a radiación ionizante. La protección radiológica, es el conjunto de medidas de bioseguridad que aplica el personal asistencial que participa en procedimientos radiológicos intervencionistas donde se utilizan este tipo de radiaciones, estas medidas buscan proteger al trabajador de los efectos nocivos de la exposición a la radiación[8].

En cumplimiento del deber constitucional de garantizar la salud de los colombianos y la protección del medio ambiente, y en el marco de los compromisos adquiridos como Estado miembro del OIEA, el ministerio de Minas y Energía (MINMINAS), basa la normatividad colombiana para el reglamento de protección y seguridad radiológica en los lineamientos contemplados en la seguridad de las fuentes de radiación y resume el esfuerzo de expertos de las principales entidades internacionales encargadas de la gestión del tema que se trata en este documento.

El 21 de marzo de 2007, la Comisión Principal de la ICRP aprobó las recomendaciones para un Sistema de Protección Radiológica que reemplaza formalmente a las recomendaciones emitidas en 1991 en la Publicación 60. Así mismo actualiza la orientación suplementaria sobre el control de la exposición a fuentes de radiación, formulada desde dicha publicación[7].

El desconocimiento general, tanto por parte de los entes de regulación y control, como de las mismas instalaciones radiológicas hacen que los estudios e investigaciones de protección radiológica y dosimetría clínica se conviertan en un factor importante para llevar a cabo estas prácticas de una forma cada vez más segura y confiable en el campo médico, para así determinar en realidad quien se considera un TOE, lo cual se explicará más adelante en el presente trabajo.

Es por esto que las personas que emplean en sus trabajos radiación ionizante tienen que estar al tanto sobre los efectos negativos en el cuerpo humano que conlleva una mala práctica de la radiación ionizante, los pacientes, público y TOE's que se someten a radiación ionizante tienen que saber sobre de las manifestaciones secundarias que puede producir un mal uso de estas.

La frecuencia con que una persona es expuesta a numerosos procedimientos donde se incluya radiación ionizante se ha convertido últimamente en un problema de salud pública, la falta de vigilancia de tiempos de exposición, el manejo inadecuado de los equipos generadores de radiación ionizante, la dosis suministrada

innecesariamente, la falta de un Oficial de Protección Radiológica (OPR) en una instalación radiológica y el desconocimiento en general de quien es un TOE, hacen que este trabajo brinde información relevante para contribuir a asegurar un nivel apropiado de protección a las personas, además de ello facilitar el conocimiento de la deficiencia existente en cuanto a herramientas, criterios legales y técnicos que permitan a los responsables de protección radiológica el realizar una correcta gestión del riesgo asociado a la exposición a este tipo de radiaciones basados en los límites de dosis recomendados por organizaciones internacionales, los cuales son adoptados por la legislación nacional.

La resolución 181434 de diciembre 5 de 2002 del ministerio de Minas y Energía de Colombia ha emitido en su anexo 1, los límites de dosis especificados para la exposición ocupacional de todo trabajador, donde señalan los límites máximos para la exposición a radiación, los cuales son de obligatorio cumplimiento[9]:

Tipo de límite	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	20 mSv por año promediada en periodos definidos de 5 años ^e	1 mSv en un año ^f
Dosis equivalente anual en:		
Cristalino ^b	150 mSv	15 mSv
Piel ^{c,d}	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	---

Tabla 1. Límite de dosis.

Fuente: ICRP, "ICRP 103 - Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica," ICRP Pub 103, vol. PUBLICACIÓ, pp. 1–117, 2007. pág. 87.

Finalmente, el personal de salud expuesto a radiación puede minimizar esta exposición con las siguientes medidas generales de protección:

- La distancia: Si la distancia entre el personal sanitario operante del procedimiento y la fuente de radiaciones ionizantes es mayor, la exposición a la radiación disminuye en proporción al aumento del cuadrado de la distancia. En muchos casos, basta con alejarse lo suficiente de la fuente de radiación.
- El tiempo: Al disminuir el tiempo de exposición, se reduce la dosis de radiación. Para el personal de salud participante es importante que posea destreza sobre el procedimiento a realizar, buscando siempre que el tiempo del procedimiento sea el menor posible.
- El blindaje: Según el tipo de energía y radiación empleada, se buscará utilizar los materiales y el espesor de blindaje más adecuado[10].

Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito del presente trabajo es analizar, controlar y evaluar a través de una herramienta informática la dosimetría personal, registrando el historial dosimétrico de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) a radiaciones ionizantes en una instalación radiológica categoría II donde se realicen prácticas médicas de radiodiagnóstico e intervencionismo.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo de una herramienta informática logrará permitir la realización del control de la dosimetría personal, aplicando los conceptos y principios de la protección y seguridad radiológica en radiodiagnóstico convencional e intervencionismo, el cual permita registrar, evaluar, administrar e intervenir en el seguimiento radiológico dosimétrico digital de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) a radiaciones ionizantes en una instalación radiológica categoría II.

2.3. JUSTIFICACION

La resolución vigente en Colombia que reglamenta el uso de equipos generadores de radiación ionizante, la resolución 482 de 2018 del Ministerio de Salud y Protección Social, se puede decir que es una normatividad nueva que deroga la resolución 9031 de 1990 y se encuentra en proceso de transición hasta el 01 de marzo de 2019, fecha en la cual empieza a regir en todos sus lineamientos; en esta se indican los procedimientos, obligaciones, etc. de las personas naturales o jurídicas que llevan a cabo el uso de las radiaciones ionizantes en el país. Sin embargo, como la aplicación rigurosa de esta ley no ha entrado en vigencia, el ente regulador, que en Colombia son las Entidades Territoriales de Salud han solicitado a todas las Instituciones Prestadoras de Salud que operen equipos generadores de radiaciones ionizantes, cuente con un plan de Protección y Seguridad Radiológica como una guía indispensable y requisito obligatorio para la obtención de la Licencia de práctica médica, así mismo el Ministerio de Salud y Protección Social en la vigente resolución, exige la presencia de un Oficial de Protección Radiológica (OPR) para una instalación radiológica categoría II, como lo es la Clínica Los Rosales, quien será el profesional que elabora, supervisa y ejecuta la óptima aplicación de los principios de protección radiológica y actividades de control de calidad[11], en donde la Clínica Los Rosales no cuenta con uno.

Uno de los objetivos que persigue el Organismo Internacional de Energía Atómica es que las instituciones creen sistemas apropiados para auditar las prácticas clínicas en el uso de rayos X. En un servicio de radiología intervencionista se requiere la evaluación de los posibles riesgos radiológicos a los que están sometidos los pacientes y los trabajadores ocupacionalmente expuestos; para ello se requiere una revisión de los procedimientos, de los elementos de protección radiológica, del personal, del equipo de rayos X, de la protección y seguridad de los

pacientes, del control y supervisión de los registros o reportes dosimétricos y del rendimiento en general del servicio de radiología diagnóstica.

La Clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira, dentro de sus especialidades clínicas, se conforma de un área de radiología intervencionista desde el año 2015. Esta área se encuentra en la unidad funcional de Cirugía, la cual cuenta con dos equipos generadores de radiación ionizante para realizar los procedimientos intervencionistas; dos intensificadores de imagen en Arco en C, uno de marca General Electric y el otro Siemens. Lo anterior justifica la importancia de recurrir a un sistema de seguimiento de la dosimetría personal de los TOE's de la institución, por medio del desarrollo de una herramienta informática.

El manual para disminución de riesgo radiológico con el que cuenta el área de radiología Intervencionista de la Clínica Los Rosales, incluye los parámetros que la unidad debe cumplir en cuanto a procedimientos bajo condiciones normales, en caso de accidentes, gestión de desechos radiactivos, requisitos físicos y de infraestructura, capacitaciones al personal expuesto a radiaciones, responsabilidades del trabajador, equipos, blindajes, funciones del OPR y el adecuado control y vigilancia de los reportes dosimétricos. Este último punto, no es evaluado de la forma adecuada.

En Colombia existen actualmente 2081 centros de radiología e imágenes diagnósticas habilitados de alta y mediana complejidad reportados en el Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS), en el cual se pueden encontrar en la ciudad de Pereira 23 de estos centros incluyendo la Clínica Los Rosales[12].

Debido al latente daño que puede generar la radiación, no se debe realizar ninguna exposición innecesaria. El principio de la protección radiológica en caso de exposición se conoce con el nombre de ALARA (As low as reasonably achievable) que se traduce como mantener la exposición "Tan bajo como sea razonablemente alcanzable"[7].

Por lo anterior, el mal uso de los rayos X para fines de diagnóstico y procedimiento médico requiere un control mucho más amplio que considere no solo los límites permitidos de dosis del trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE) y del público si no del paciente y del personal que asiste a intervenciones con uso de rayos X.

Con el desarrollo de la herramienta informática, se busca, que la evaluación de riesgos mediante la adecuada interpretación de los reportes dosimétricos, se realice con personal competente en el conocimiento de rayos X incluyendo al personal administrativo, con el fin de que haya un seguimiento del proceso y una presentación de resultados acertados; se debe contar con la documentación necesaria previamente, con la observación de las prácticas, con la comunicación de un grupo interdisciplinar que tenga experiencia en los procesos de la institución.

Para llevar a cabo el presente trabajo, fue orientado bajo la consulta bibliográfica de las normas vigentes en cuanto a protección radiológica y evaluación de riesgos, la observación, la práctica y además de contar con un grupo capacitado en el área de física médica con experiencia en protección radiológica y dosimetría clínica.

Un factor importante y relevante que soporta la elaboración de este trabajo, es que en Colombia existen muy pocas herramientas informáticas que permitan evaluar el puesto de trabajo para favorecer la posterior clasificación del trabajador como expuesto o no expuesto, por ello se busca regular este uso y los procesos con los equipos generadores de rayos X, brindando así, beneficios y seguridad a los TOE's, los pacientes, el público y a mismas instituciones.

La Clínica Los Rosales concedió la autorización de usar su nombre y los procesos planteados para la evaluación de riesgos y clasificación del TOE mediante la interpretación de la herramienta informática; pero, los resultados presentados en la evaluación no fueron autorizados debido a que se considera material privado y de uso exclusivo de los protocolos encargados del área de desarrollo humano y salud ocupacional. Por lo cual este trabajo es una guía para aquellas entidades que deseen controlar los riesgos existentes y realizar una vigilancia radiológica en uso de rayos X mediante un adecuado manejo e interpretación de la dosimetría personal.

Finalmente, en la actualidad, no se conocen empresas nacionales que diseñen o comercialicen software para el control, vigilancia y seguimiento del historial dosimétrico personal que permita acceder a las dosis acumulativas para una institución en general. Algunas empresas autorizadas por el Ministerio de Minas y Energía que prestan servicios de dosimetría personal, desarrollan una vigilancia radiológica individual y grupal de las personas expuestas a Radiaciones Ionizantes y mantienen un historial dosimétrico individual online, siempre y cuando se encuentre con una parte contractual con estas empresas, si es el caso que una institución prestadora de salud (IPS), requiera cambiar de proveedor, esta vigilancia ya no se sigue prestando[13].

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta informática que permita realizar el control de la dosimetría en protección y seguridad radiológica en radiodiagnóstico convencional e intervencionismo, del historial digital dosimétrico de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) a radiaciones ionizantes en una instalación radiológica categoría II.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar documentación, información técnica y legal relevante, referente a Protección Radiológica y dosimetría operacional de las radiaciones ionizantes.
- Interpretar los reportes dosimétricos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) de la Clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira.
- Sistematizar el historial de los reportes dosimétricos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) del servicio de radiodiagnóstico e Intervencionismo de la clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira.
- Socializar la herramienta informática a los directivos y al oficial de protección radiológica de la clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO HISTORICO

En este marco, se prestará atención a una amplia búsqueda literaria que aporta al desarrollo histórico de la protección radiológica y por consiguiente a la dosimetría de las radiaciones; con el fin de dar unas bases sólidas al primer objetivo de este trabajo, que obedece a la revisión de la documentación, información técnica y legal relevante, referente a Protección Radiológica y dosimetría operacional de las radiaciones ionizantes.

La necesidad de establecer normas de protección contra los efectos biológicos perjudiciales, producidos por las radiaciones ionizantes, se hizo patente a los pocos meses del descubrimiento de los Rayos X por Roentgen en 1895 y el comienzo del trabajo con elementos radiactivos en 1896[14]. Algunas semanas después del descubrimiento de los rayos X, se utilizaron estos rayos para el diagnóstico de fracturas, es por ello que se pudo observar los efectos nocivos agudos (pérdida de cabello, eritema y dermatitis), los cuales permitieron que el personal de los hospitales se percatara de la necesidad de evitar la sobreexposición[15].

Cuando los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes por fotones X y Gamma, se presentaron en el personal hospitalario y científico, a inicios de la década de 1920 se propusieron recomendaciones universales para proteger la salud de las personas que utilizaban radiaciones ionizantes en sus labores profesionales. En 1921 se creó el Comité Británico de Rayos X y Protección a la Radiación, primera organización internacional para la protección radiológica[16].

Como consecuencia del trabajo con radiaciones ionizantes, algunos operadores en este campo, comenzaron a manifestar efectos nocivos. El análisis de síntomas patológicos de un conjunto de radiólogos, permitió establecer en 1922 que la incidencia de cáncer en este grupo de trabajo, era significativamente, más alta respecto a otros médicos, circunstancia ésta que demostró la peligrosidad de las radiaciones ionizantes y la necesidad de establecer normas específicas de protección radiológica, con la introducción de nuevas magnitudes radiológicas, así como sus correspondientes unidades[14]. Las características de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son la base para las recomendaciones tendientes a un uso seguro de las mismas.

Dado este fenómeno, debido a los efectos biológicos producidos por las radiaciones ionizantes, se determinó al pasar de los años, que la ionización trastorna la estructura electrónica de los átomos de un material y por tanto sus propiedades, en

especial se pudo establecer que en los tejidos vivos, la ionización realiza cambios químicos que resultan en el daño a la estructura química de las células ADN.

Se afirma que a diferencia de otras maneras o formas de la radiación, la radiación ionizante es altamente peligrosa biológicamente a la salud humana, debido a que cuenta con la suficiente energía con la cual puede arrancar electrones de los átomos con los que interactúa, en especial cuando la radiación ionizante choca eventualmente con moléculas y átomos atravesando células vivas, lo que consolida a radicales y iones libres que rompen los enlaces químicos que ocasionan cambios moleculares que perjudican a las células afectadas[17].

La normativa internacional que inició la normalización de las magnitudes y unidades en el campo de la Metrología, tuvo sus inicios cuando en 1875, 17 países firmaron la Convención del Metro y se creó la oficina internacional de Pesos y Medidas (BIPM). En 1925, se creó la Comisión Internacional de Medidas y Unidades Radiológicas (ICRU), cuya misión más importante se centra en hacer recomendaciones respecto a:

- Magnitudes y unidades de radiación y radiactividad.
- Métodos de medida y campos de aplicación en Radiobiología y Radiología Clínica.
- Datos y constantes físicas para la aplicación de estos procedimientos[14].

En 1928 la primera acción internacional fue llevada a cabo en el Segundo Congreso Internacional de Radiología, estableciendo la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, en inglés), órgano independiente de cualquier gobierno, que congrega especialistas de diferentes países y cuyo objetivo es dar recomendaciones actualizadas sobre el uso seguro de las radiaciones ionizantes. El ICRP publicó sus primeras recomendaciones en el año 1931[16].

La ICRP es una organización asesora que ofrece sus recomendaciones a agencias reguladoras y consultoras, principalmente proporcionando orientación sobre los principios fundamentales en los que se puede basar una protección radiológica adecuada. Desde su comienzo en 1928, la Comisión ha proporcionado regularmente recomendaciones sobre la protección contra los riesgos de la radiación ionizante[7].

Estas recomendaciones están referidas a la protección del hombre frente a las radiaciones ionizantes, teniendo en cuenta que ellas son solo uno de los muchos peligros a los que se enfrenta a diario. Enfatizan el concepto de que las radiaciones deben ser tratadas con cuidado más que con miedo, y que para realizar evaluaciones y para la toma de decisiones, sus riesgos deben ser analizados en

perspectiva teniendo en cuenta los riesgos asociados con otras actividades humanas.

De 1953 a 1962 la ICRU estableció las definiciones de las magnitudes: dosis absorbida, exposición, dosis equivalente y actividad, y sus correspondientes unidades especiales: rad, Roentgen, rem y curio. En mayo de 1975 a propuesta de la ICRU, la BIMP adoptó como unidades SI (sistema internacional de medidas) el Bequerelio (Bq) y el Gray (Gy), abriéndose un período de 10 años para la adopción definitiva de las nuevas unidades[14].

En 1957 como respuesta a los profundos temores y las expectativas que infundían los descubrimientos y variados usos de la tecnología nuclear se creó El OIEA. La génesis del Organismo se remonta al discurso “Átomos para la paz” pronunciado por Eisenhower, presidente de los Estados Unidos, ante la Asamblea General de las Naciones Unidas el 8 de diciembre de 1953[18].

Actualmente las aplicaciones de las recomendaciones y publicaciones de estas organizaciones requieren de la comprensión de una variedad de conceptos. Esto implica que para comprender los mecanismos a través de los cuales se producen los múltiples efectos que la radiación ionizante puede inducir en los organismos vivos, se hace necesario conocer previamente las magnitudes básicas de la protección radiológica y dosimetría clínica, las cuales permiten caracterizar y cuantificar los fenómenos de la desintegración radiactiva y la generación e interacción de la radiación ionizante con la materia; conceptos y teorías que se van a profundizar en el transcurso del presente marco referencial.

Según lo anteriormente expuesto, para caracterizar y cuantificar los fenómenos producidos por esta radiación, es realmente necesario adoptar la dosimetría como una medida o evaluación de la dosis de radiación recibida por los trabajadores ocupacionalmente expuestos. En Colombia se impuso el uso del dosímetro a partir de 1979, “Toda persona que por razón de su trabajo esté expuesta a las radiaciones ionizantes llevará consigo un dispositivo, dosímetro de bolsillo, o de película, que permita medir las dosis acumulativas de exposición[19]”

En el año de 1979 en Colombia no se había desarrollado el concepto de trabajador ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes, pero se reconoce que toda persona que por su labor este expuesta a la radiación se le debe suministrar un dosímetro personal, para llevar una unidad de medida de la estimación de la dosis efectiva recibida por su ocupación, es así como se busca que “las dosis debidas a las radiaciones externas se evaluarán con ayuda del dosímetro que los trabajadores llevarán constantemente mientras se encuentren en la zona vigilada[19]”.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo presenta los conceptos que justifican y soportan el tema de protección radiológica y dosimetría de las radiaciones. Se definen los principios físicos de la generación de los rayos X, conceptos fundamentales de protección radiológica operacional, algunas de las magnitudes y unidades dosimétricas utilizadas en la evaluación y estimación de las dosis y por último los efectos biológicos que la interacción de la radiación con la materia origina.

4.2.1. Rayos X

Como se mencionó anteriormente en el marco histórico los rayos X, fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje (tubo de Crookes) [20]. Los rayos X son radiaciones electromagnéticas; fotones de alta energía (1 a 100 keV) con longitudes de onda cercanas a 1 *Angstrom*. Usualmente, se producen bombardeando un objeto con un haz de electrones de alta energía, como se muestra en la ilustración 1. La energía cinética de los electrones en el cátodo es despreciable, de manera que cuando dan en el blanco tienen una energía cinética[20]:

$$K = eV$$

Ecuación 1. Energía cinética de los electrones acelerados en el cátodo.

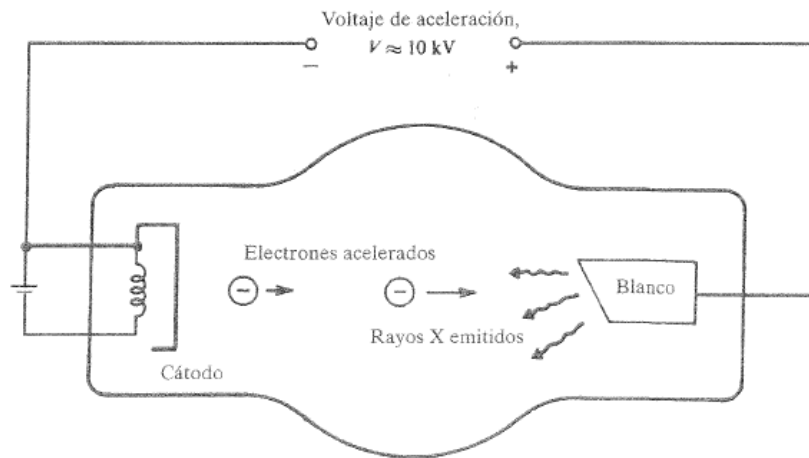


Ilustración 1. Rayos X.

Fuente: R. G. W. Savin., Física Moderna - Schaum, Segunda. México, D.F., 2001, pág. 183.

Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético (ilustración 2.), se conocen como rayos X

blandos; los de menor longitud de onda, que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con esta, se denominan rayos X duros.

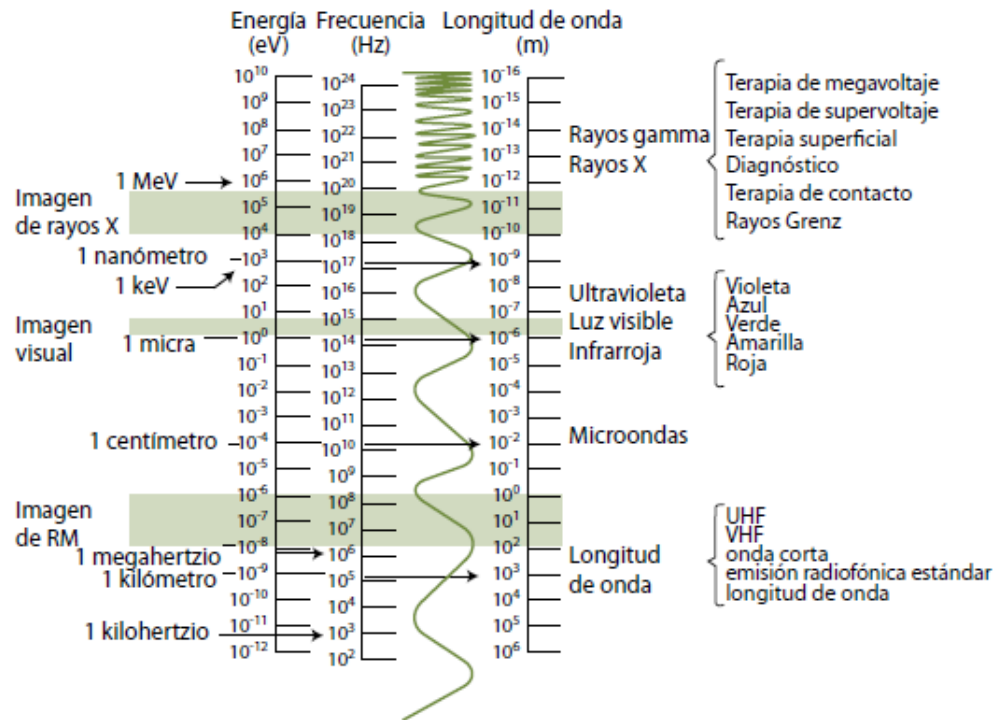


Ilustración 2. Los rayos X dentro del espectro electromagnético.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 27

4.2.2. Fotón:

De acuerdo con la interpretación cuántica, la radiación electromagnética consta de discretos paquetes de energía como partículas, llamados fotones o cuantos. Cada fotón tiene una energía E que depende solo de la frecuencia ν de la radiación, y está dada por[20]:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Ecuación 2. Energía de un fotón.

Donde:

- $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ que es la constante de Planck
- $c = \text{velocidad de la luz}$
- $\nu = \text{frecuencia de radiación}$
- $\lambda = \text{longitud de onda}$

4.2.3. El tubo de rayos X

El tubo de rayos X se trata de una ampolla de cristal en la que se ha realizado el vacío y que se encuentra en el interior de una carcasa de protección. Aunque estrictamente el tubo es la ampolla de cristal contenida en la carcasa, se suele llamar tubo, al conjunto ampolla más carcasa. En el presente trabajo se usará el término tubo para denominar al conjunto de ampolla más carcasa. El tubo es la parte noble del equipo de Radiodiagnóstico, lugar donde se generan los rayos X.

A continuación, se presenta una breve descripción de los principales componentes de un tubo de rayos X:

a) La carcasa

La carcasa (ilustración 3.) cumple dos funciones primordiales. La primera es la protección radiológica, cuando se producen rayos X, estos son emitidos en todas direcciones. Dado que la intención es aprovechar únicamente la parte del haz que se dirige hacia el paciente y hacia el receptor de imagen (haz útil), se debe confinar el resto del haz para evitar irradiaciones innecesarias. Las carcasas suelen fabricarse con plomo con el fin de evitar la emisión de rayos X excepto los presentes en el haz útil (correctamente delimitado por sistemas de colimación).

La segunda función es la protección eléctrica, la emisión de rayos X se logra estableciendo altas tensiones en el tubo de rayos X. El riesgo de electrocuciones que esto genera, se reduce con el adecuado aislamiento eléctrico que proporcionan las carcasas. Muchas de ellas contienen un aceite cuya misión principal es contribuir a la refrigeración del tubo, aunque también actúa como aislante eléctrico.

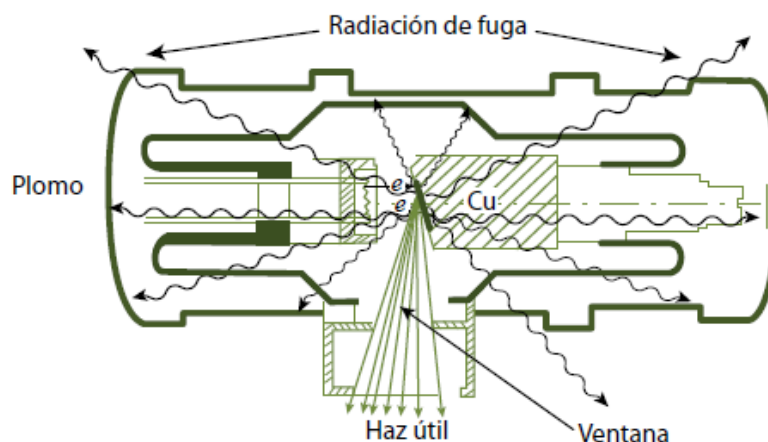


Ilustración 3. La carcasa del tubo de rayos X absorbe gran parte de la radiación generada en el ánodo.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 31

b) La ampolla

Es un tubo de vacío electrónico, los componentes de la ampolla se encuentran dentro de una envoltura de cristal. El tamaño de la ampolla es considerable: hasta 40 cm de longitud y 25 cm de diámetro. La envoltura de vidrio fabricada con cristal Pírex para soportar la enorme cantidad de calor generada en su interior, mantiene el vacío dentro del tubo. Este vacío hace más eficaz la producción de rayos X y permite prolongar la vida del tubo. Las partes fundamentales en el interior de la ampolla de rayos X se pueden observar en la ilustración 4.

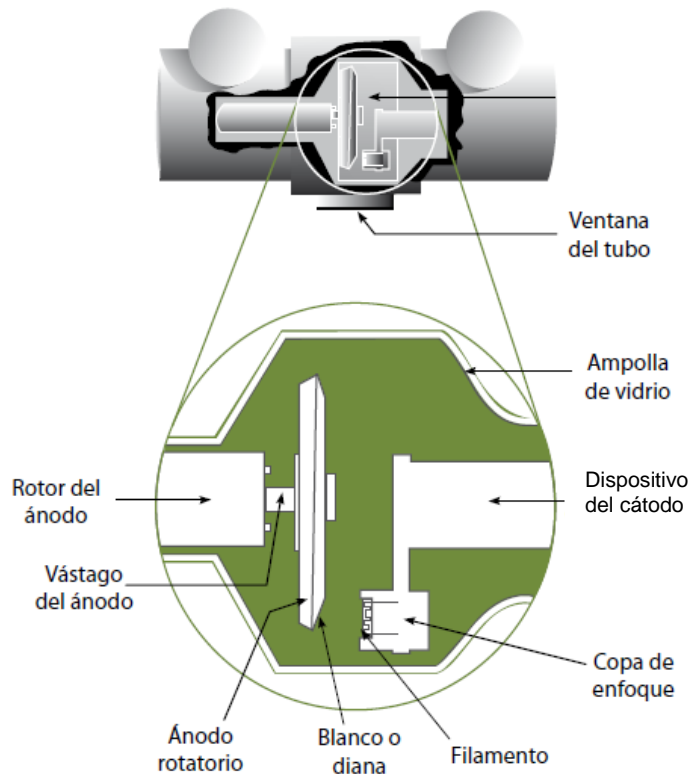


Ilustración 4. Esquema del interior de una ampolla de rayos X.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 33

c) El cátodo

Es el lado negativo del tubo de rayos X. Tiene dos partes principales: el filamento y la copa de enfoque.

- El filamento es una espiral de alambre similar al de una bombilla incandescente. Su tamaño es aproximadamente de 2 mm de diámetro y 1 a 2 cm de largo. Cuando la corriente que atraviesa el filamento es lo bastante intensa, de

aproximadamente 4 Amperios o superior, los electrones de la capa externa de los átomos del filamento son expulsados del filamento. Ese fenómeno se llama emisión termoiónica. Los filamentos suelen construirse de tungsteno. Esta aleación proporciona una emisión termoiónica mayor que otros metales. Su punto de fusión es de 3410°C de forma que a pesar de la alta intensidad de corriente que por él circula no se llega a fundir.

- La copa de enfoque es un pequeño recipiente metálico dentro del cual se encuentra el filamento. Dado que todos los electrones son eléctricamente negativos, el haz tiende a divergir a causa de la repulsión electrostática, aumentando de manera indeseable el tamaño del foco. Para contrarrestar este efecto, la copa de enfoque se carga negativamente, de forma que condensa el haz de electrones en una zona pequeña del ánodo.

d) El ánodo

Es la parte positiva del tubo de rayos X. Existe dos tipos de ánodos: estacionarios y rotatorios. Los de ánodo estacionario se usan en aparatos de odontología, algunas máquinas portátiles y unidades que no requieran intensidad ni potencias altas en el tubo. Los tubos de rayos X con fines generales utilizan el ánodo rotatorio ya que deben ser capaces de producir haces de rayos X de alta intensidad en un tiempo breve.

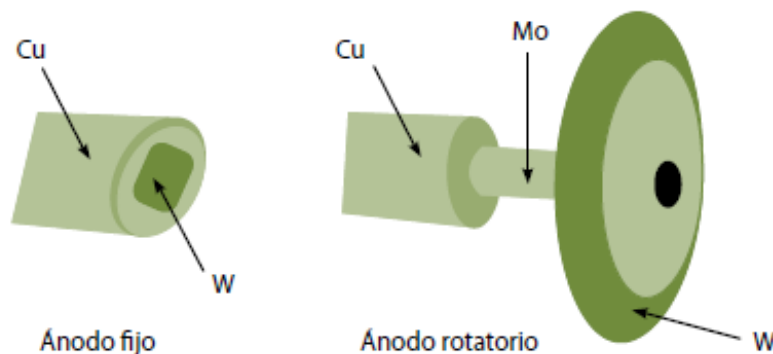


Ilustración 5. Ánodo fijo y rotatorio

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 34

El elemento de elección para la construcción del ánodo, generalmente es el cobre, porque es un conductor eléctrico que recibe los electrones emitidos por el cátodo y los conduce a través del tubo hasta los cables conectores y, de vuelta, a la sección de alta tensión del generador, además es un buen conductor térmico ya que el 99% de la energía de los electrones se deposita en el blanco en forma de calor. El ánodo debe ser capaz de disipar tal cantidad de calor en el menor tiempo posible.

La zona del ánodo donde impactan los electrones se llama blanco o diana.

e) El blanco o diana (target)

Es la zona del ánodo en la que impactan los electrones procedentes del cátodo. En los tubos de ánodo estacionario, el blanco consiste en un metal de aleación de tungsteno embebido y en el ánodo de cobre. En los ánodos de tubo rotatorio, todo el disco giratorio es el blanco. En esos casos, el tungsteno suele ir en aleación con renio, lo cual le proporciona más resistencia mecánica para soportar el esfuerzo de la rotación rápida. El tungsteno es el material de elección porque tiene un alto número atómico, lo cual le confiere mayor eficiencia en la producción de rayos X a la vez que estos son de mayor energía, además tiene una alta conductividad térmica, parecida a la del cobre; esto favorece la disipación de la gran cantidad de calor generada al impactar los electrones con el blanco[21].

4.2.4. Funcionamiento del tubo de rayos X

Cuando se enciende el equipo de rayos X, una corriente eléctrica baja fluye a través del filamento con el fin de calentarlo y prepararlo para la sacudida térmica que exige la producción de rayos X. Cuando el operador solicita emisión de rayos X en la consola, la corriente de filamento aumenta bruscamente proporcionando el llamado efecto de emisión termoiónica que consiste en la emisión de electrones de los átomos del filamento debido al calentamiento generado por la intensa corriente eléctrica en el mismo (del orden de 5 amperios). Una vez que la corriente de filamento es lo bastante elevada como para permitir la emisión termoiónica, un pequeño incremento de esta corriente dará lugar a un gran aumento de la corriente de tubo.

La corriente de tubo es la cantidad de electrones que, procedentes del cátodo, van a desplazarse hasta el ánodo para generar los rayos X. La relación entre corriente de filamento y corriente de tubo depende de la tensión del tubo y se ha representado en la ilustración 6.

Una vez emitidos desde el filamento, los electrones permanecen momentáneamente en su proximidad antes de ser acelerados hacia el ánodo. Dado que tienen cargas negativas, se repelen mutuamente y tienden a formar una nube alrededor del filamento.

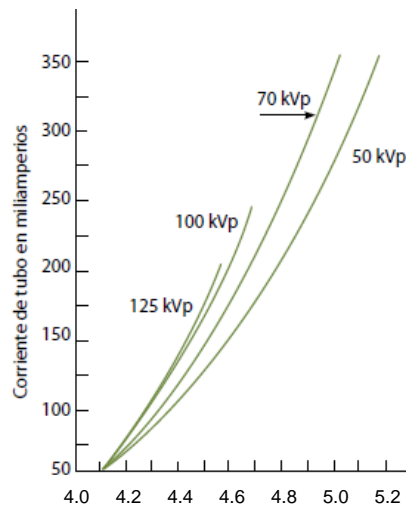


Ilustración 6. La relación entre corriente de filamento y corriente de tubo es dependiente de la tensión aplicada entre cátodo y ánodo (kV).

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 35

4.2.5. Producción de Rayos X

Los electrones bombardeados pueden interactuar con los átomos del blanco en varias formas diferentes. En un tipo de interacción, los electrones se aceleran por el núcleo cargado positivamente, como se muestra en la ilustración 3. Cuando una carga se acelera, produce radiación, la cual, de acuerdo con el esquema cuántico, estará en forma de fotón con energía $h\nu$ igual que el cambio en la energía cinética del electrón, es decir $h\nu = K_i - K_f$. La radiación que se produce de esta forma se llama bremsstrahlung; palabra compuesta de origen alemán que identifica la radiación de “frenado” o de “retardamiento”. (N. del T.: bremsung significa desaceleración y strahlung, radiación.)

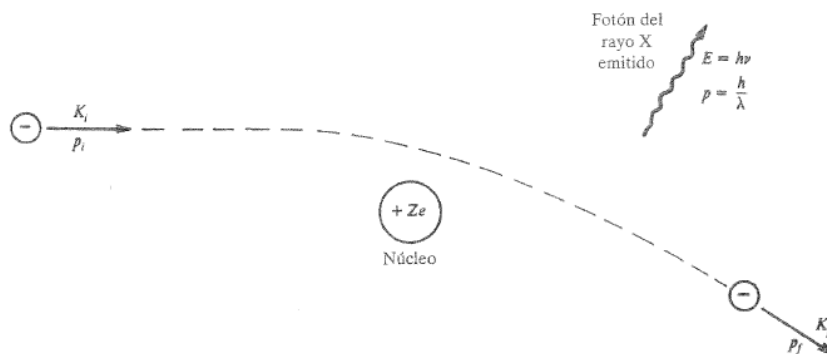


Ilustración 7. Electrones acelerados por el núcleo cargado positivamente.

Fuente: R. G. W. Savin., *Física Moderna - Schaum, Segunda*. México, D.F., 2001, pág. 184.

Un electrón en un haz de electrones puede producir varios de esos fotones antes de llegar al reposo. El fotón más energético posible ocurre cuando un electrón pierde toda su energía cinética inicial en una sola interacción, produciendo un fotón único con una frecuencia máxima o longitud de onda mínima dada por[20].

$$hv_{m\acute{a}x} = \frac{hc}{\lambda_{m\acute{i}n}} = eV$$

Ecuación 3. Energía del fotón más energético posible.

4.2.6. Emisión de rayos X

Los electrones que viajan desde el cátodo hasta el ánodo constituyen la corriente del tubo de rayos X y a veces se les denomina electrones proyectil. Cuando esos electrones chocan contra los átomos del metal pesado del blanco (normalmente tungsteno), interaccionan con ellos y transfieren su energía cinética al blanco. Conforme se producen esas interacciones, los electrones proyectil disminuyen de velocidad y quedan casi en reposo. Después de esto, son conducidos a través del ánodo hacia los circuitos eléctricos asociados. Estos electrones interaccionan con los electrones orbitales o los núcleos de los átomos del blanco dando lugar a diferentes emisiones energéticas. A continuación, se presenta una breve descripción de las diferentes emisiones de rayos X:

4.2.6.1. Los rayos X característicos

Se producen cuando un electrón proyectil interacciona con un electrón de una capa interna del átomo blanco. Cuando esa interacción es suficientemente violenta como para ionizar el átomo blanco se origina radiación característica (ilustración 8).

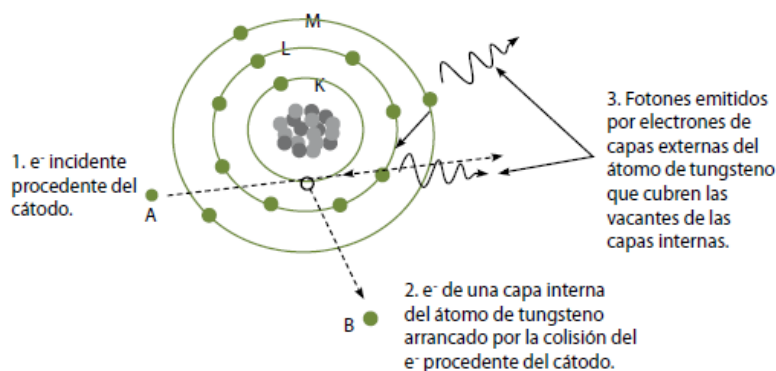


Ilustración 8. Representación gráfica de la emisión de un fotón de rayos X característico.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad. Madrid, 2012. Pág. 46.

El electrón de la capa interna que se ha ionizado ha dejado un “hueco” en su orbital que será ocupado por un electrón de una capa externa. El tungsteno, por ejemplo, tiene electrones hasta en la capa P y cuando es ionizado un electrón de la capa K, su hueco puede ser ocupado por electrones de cualquiera de las capas más externas. La transición de un electrón orbital desde una capa externa hasta otra interna va acompañada de la emisión de un fotón de rayos X de energía igual a la diferencia de energías de enlace de los correspondientes electrones orbitales.

Tungsteno: W-184 ($Z=74$)		
Capa	Número de electrones	Energía de enlace aproximada (keV)
K	2	69,53
L	8	12,10
M	18	2,82
N	32	0,60
O	12	0,08
P	2	<0,01

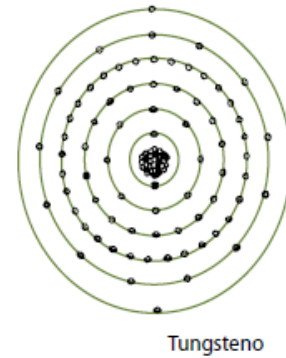


Tabla 2. Energías de enlace en los distintos orbitales del tungsteno, elemento más habitual de los ánodos de los tubos de rayos X

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad.* Madrid, 2012. Pág. 45.

4.2.6.2. Los rayos X de frenado

Dan lugar cuando un electrón con carga negativa puede pasar próximo a un núcleo atómico con carga positiva y puede ser frenado en su trayectoria por la atracción de cargas de distinto signo que poseen, disminuyendo su energía cinética. La energía cinética perdida por el electrón se puede emitir en forma de un fotón de rayos X [22].

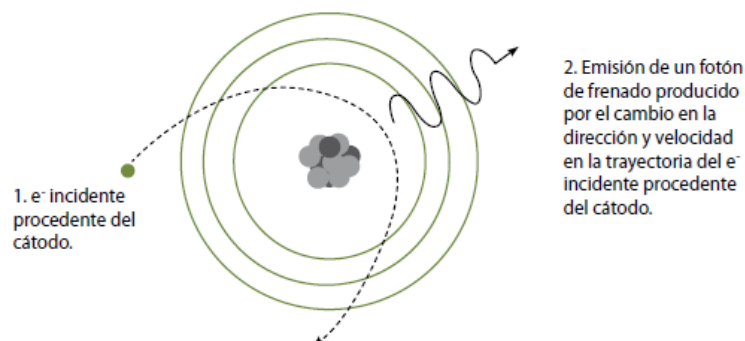


Ilustración 9. Representación gráfica de la emisión de fotones de rayos X de frenado.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad.* Madrid, 2012. Pág. 47.

4.2.7. Dosimetría clínica

En las exposiciones médicas con fines de diagnóstico se han de determinar las dosis absorbidas representativas correspondientes a pacientes adultos de tamaño corporal típico. Así mismo, en las exposiciones con fines terapéuticos, es preceptivo determinar los valores de la dosis individual absorbida por cada paciente, ya sea mediante cálculo o medición directa, al menos en un número suficiente de puntos representativos del volumen tomado como blanco y de los órganos del paciente que interesen[1].

4.2.8. Magnitudes y unidades Dosimétricas

En esta sección se nombran las cantidades básicas dosimétricas que aplican a radiología diagnóstica basados en el código de práctica para dosimetría en radiología diagnóstica TRS 457 de la OIEA, la resolución 181434 de diciembre 5 de 2002 del ministerio de Minas y Energía de Colombia y el material de entrenamiento sobre protección radiológica en radiodiagnóstico y radiología intervencionista del OIEA.

A continuación, se presentan las características físicas y matemáticas de estas variables.

4.2.8.1. Fluencia

Es el cociente entre el número de partículas incidente sobre una esfera de corte transversal a [23].

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Ecuación 4. Fluencia.

Donde:

- N = número de partículas
- a = área

Unidades: m^{-2}

4.2.8.2. Fluencia de energía

Es el cociente entre la energía radiante incidente en una sección transversal a de una esfera[23].

$$\Psi = \frac{dR}{da}$$

Ecuación 5. Fluencia de energía.

Donde:

- $R = \text{energía radiante}$
- $a = \text{área}$

Unidades: J / m²

4.2.8.3. KERMA

Kinetic Energy Released in a Material. Es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas ionizantes liberadas por partículas ionizantes sin carga en un material de masa m[23].

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Ecuación 6. KERMA.

Donde:

- $E_{tr} = \text{Energía}$
- $m = \text{masa}$

Unidades: J /kg. El nombre especial para KERMA es el Gray (Gy).

4.2.8.4. Energía impartida

La energía media impartida a la materia en un volumen dado, es igual a la energía radiante de todas esas partículas cargadas y no cargadas ionizantes que entran en el volumen (R_{in}) menos la energía radiante de todas esas partículas cargadas y no cargadas ionizantes que dejan el volumen (R_{out}), más la suma de todos los cambios de la energía en reposo de los núcleos y partículas elementales que se producen en el volumen ΣR_Q [23].

$$\bar{\epsilon} = R_{in} - R_{out} + \Sigma R_Q$$

Ecuación 7. Energía impartida.

Donde:

- R_{in} = Energía radiante que entra al volumen
- R_{out} = Energía radiante que sale del volumen
- ΣR_Q = Energía de las partículas que se generan dentro del volumen

Unidades: Joule

4.2.8.5. Dosis absorbida

Magnitud para dosimetría al paciente. Es la energía media impartida por la radiación ionizante por unidad de masa [23].

$$D = \frac{d\bar{\mathcal{E}}}{dm}$$

Ecuación 8. Dosis absorbida.

Donde:

- $\bar{\mathcal{E}}$: Energía media impartida por la radiación ionizante
- m : Masa de un material

Unidades: J /kg. El nombre especial para la D es el Gray (Gy).

4.2.8.6. Exposición

Es la medida de la radiación electromagnética ionizante en su interacción solo con el aire y el valor absoluto de la carga total de los iones de un solo signo producidos en aire cuando todos los electrones liberados por los fotones por unidad de masa de aire son completamente parados en el aire[23].

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Ecuación 9. Exposición.

Donde:

- Q : Carga
- m : Masa de un material

Unidades: C /kg. La unidad especial es el Roentgenio (R)

4.2.8.7. Tasa de exposición

Es la exposición producida por unidad de tiempo[23].

$$\dot{X} = \frac{X}{t}$$

Ecuación 10. Tasa de exposición.

Donde:

- X : Exposición
- t : Tiempo

Unidades: R /s

4.2.8.8. Factor de ponderación de la radiación W_R

Factor sin dimensiones por el que se multiplica la dosis absorbida en órganos o tejidos para reflejar la mayor eficiencia biológica de las radiaciones. Se emplea para deducir la dosis equivalente a partir de la dosis absorbida promediada en un órgano o tejido[7].

Tipo de radiación	Factor de ponderación de la radiación w_R
Fotones	1
Electrones ^a y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa ,Fragmentos de fisión, Iones pesados	20
Neutrones	5 - 20

Tabla 3. Factor de ponderación de la radiación W_R .

Fuente: ICRP, "ICRP 103 - Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica," ICRP Pub 103, vol. PUBLICACIÓ, pp. 1–117, 2007. pág. 58.

4.2.8.9. Factor de ponderación de tejido W_T

Factor por el que se pondera la dosis equivalente en un órgano o tejido T para representar la contribución relativa de ese órgano o tejido al detrimento total en la salud que resulta de una exposición total del cuerpo (ICRP 1991b)[7]:

$$\sum_T W_T = 1$$

Ecuación 11. Ponderación de tejido.

Tejido	w_T	Σw_T
Medula ósea, colon, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos *	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0,04	0,16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
Total		1,00

Tabla 4. Factor de ponderación de Tejido w_T .

Fuente: ICRP, "ICRP 103 - Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica," ICRP Pub 103, vol. PUBLICACIÓ, pp. 1–117, 2007. pág. 58.

4.2.8.10. Dosis equivalente H_T

Es la dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación de la radiación W_R , para determinar la eficacia biológica de un cierto tipo de radiación. Para los rayos X en radiología el $W_R = 1$ [23].

$$H_T = W_R \times D_{T,R}$$

Ecuación 12. Dosis equivalente.

Donde:

- W_R : Factor de ponderación de la radiación
- $D_{T,R}$: Dosis absorbida en organo o tejido

Unidades: Sv (Sievert)

4.2.8.11. Dosis efectiva E

La exposición a la radiación de los diferentes órganos y tejidos corporales causa daños con distintas probabilidades y diferente gravedad. La combinación de probabilidad y gravedad recibe el nombre de detrimento; es por tanto la dosis efectiva el producto de la dosis equivalente por un factor de ponderación del tejido[23].

$$E = \sum_T W_T \times H_T$$

Ecuación 13. Dosis efectiva.

Donde:

- W_T : Factor de ponderación del tejido
- H_T : Dosis equivalente

Unidades: Sv (Sievert)

4.2.8.12. Producto Dosis Área (DAP)

Se define como la dosis en aire en un plano integrada en el área de interés. Se mide bajo parámetros de una sección transversal del haz y teniendo en cuenta el inverso al cuadrado de la distancia de la dosis[23].

Unidades: c Gy / cm²

4.2.8.13. Dosis a un órgano D_T

Dosis absorbida promedio en un tejido o un órgano T determinados del cuerpo humano, definida por la expresión[9]:

$$D_T = \left(\frac{1}{m_T} \right) \int_{m_T} D dm$$

Ecuación 14. Dosis a un órgano.

Unidades: J /kg. El nombre especial para la D es el Gray (Gy).

4.2.8.14. Dosis equivalente personal $H_p(d)$

Es la dosis equivalente en tejido blando a una profundidad d , a partir de un punto especificado sobre el cuerpo humano, que se define para la radiación muy penetrante y la poco penetrante. Se recomiendan las profundidades $d = 10 \text{ mm}$ para la radiación muy penetrante, $d = 0,07 \text{ mm}$ para la radiación poco penetrante para piel y extremidades y $d = 3 \text{ mm}$ para la radiación poco penetrante para cristalino [9]:

4.2.8.15. Límite de dosis

Valor de la dosis efectiva o de la dosis equivalente, causada a los individuos por prácticas controladas, que no se deberá rebasar[9].

4.2.9. Radiología

La radiología es la ciencia que se ocupa del estudio de las radiaciones que pueden ser aplicadas al diagnóstico o tratamiento médico se la ha considerado como un elemento imprescindible en las prácticas médicas y desarrollo a la radiología para

englobar todas las aplicaciones médicas, incluyendo radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear[24].

4.2.10. Radiodiagnóstico

El principal objetivo del radiodiagnóstico es la obtención de imágenes de calidad suficiente para el diagnóstico con la menor dosis posible en el paciente. A ello se dirigirán todos los esfuerzos tanto tecnológicos como operativos. El radiodiagnóstico médico es fundamentalmente una técnica de diagnóstico por la imagen. Se basa en la posibilidad de obtener informaciones relevantes relativas a la salud o a la enfermedad de un individuo a partir de los patrones morfológicos observados en imágenes de sus estructuras anatómicas. Para obtener esas imágenes se emplean diferentes agentes físicos y, entre ellos, de manera muy destacada, los rayos X. [21].

4.2.11. Radiología Intervencionista

El principal objetivo de la radiología intervencionista es diagnosticar o tratar patologías con una técnica mínimamente invasiva. Se utilizan imágenes para dirigir los procedimientos radiológicos. Los equipos de tipo intervencionista se usan en estudios del sistema circulatorio, tanto coronario, como neurológico, como periférico, algunos casos con inyección de contraste; también se utilizan en otro tipo de pruebas intervencionistas. Los equipos son usados también para radiología general, es decir, proyecciones simples tanto de huesos como de partes blandas (tórax, abdomen, columnas, extremidades, etc.). Algunos son equipos móviles que, a modo de pequeños arcos intervencionistas suelen usarse como apoyo y guía en muchas cirugías, endoscopias, artroscopias, etc.[21].

4.2.11.1. Arco en C

En un gran número de intervenciones quirúrgicas es necesario recurrir a la fluoroscopia o a la imagen con rayos X durante las mismas. Es evidente que en todos estos casos no es viable trasladar al paciente a una sala de rayos X, pero tampoco es cómodo instalar un equipo de rayos X fijo, que puede estorbar en las intervenciones en que no se precisan rayos X. Para estos casos o para aquellos en que se requiere simplemente fluoroscopia, están los arcos radioquirúrgicos móviles. Se denominan así por el aspecto que presenta el conjunto tubo de rayos X y receptor de imagen (típicamente intensificador de imagen y cámara CCD) como un arco en C, con ambas partes siempre alineadas y a una distancia fija (90 cm – 100 cm), tal y como puede verse en la ilustración 10.

De esta manera puede colocarse al paciente entre el tubo y el intensificador y el acceso a la zona de exploración queda relativamente libre. Este arco va montado al final de un brazo extensible anclado al pie del equipo que incluye el generador de rayos X y la consola con los controles. Dicho pie lleva ruedas lo que permite el movimiento del conjunto del equipo. Debido a la necesidad de espacio y al buen comportamiento que tienen, todos los arcos actuales incorporan generadores de alta frecuencia lo que permite también el empleo de fluoroscopia pulsada.

La altura del arco es variable y típicamente motorizada y el resto de movimientos (de rotación del arco y del brazo extensible) suelen ser manuales con inclusión de diversos frenos para anclar el arco en la posición requerida. La capacidad que tienen estos equipos para variar la posición del arco en torno al paciente sin necesidad de mover a éste es una de sus características más sobresalientes.



Ilustración 10. Arco en C.

Fuente: <http://www.elhospital.com/temas/Arco-en-C-para-ortopedia-y-traumatologia-Ziehm-8000+114509>

Los tubos de rayos X que se instalan en los arcos son típicamente de ánodo estacionario, que tienen la ventaja de ser más compactos y ligeros. Por el contrario, la capacidad térmica y la tasa de disipación de estos tubos es mucho menor por lo que estos equipos no son adecuados para un uso muy intensivo de la fluoroscopia. Junto con el arco propiamente dicho, el equipo consta de un carro independiente móvil con uno o dos monitores de TV (para la visualización de imágenes de referencia y fluoroscopia directa), unido al arco mediante una manguera con los cables necesarios[21].

4.2.11.2. Fluoroscopia

Entendida como la visualización dinámica de una imagen de rayos X sobre una pantalla. La fluoroscopia produce una imagen continua permitiendo al observador ver cambios dinámicos dentro del paciente como órganos en movimiento o flujo de medios de contraste a través de vasos sanguíneos, aparato digestivo, etc. Un fluoroscopio en su forma original constaría de dos componentes esenciales: un tubo de rayos X y una pantalla fluoroscópica, tal y como puede verse en la ilustración 11.

El tubo y la pantalla se montan enfrentados mediante algún sistema mecánico que asegure su alineamiento. El operador mueve la pantalla fluoroscópica a lo largo del paciente y el tubo sigue a la pantalla. Los fotones de rayos X que atraviesan el paciente interactúan con la pantalla produciendo fotones de luz que alcanzan al observador. La imagen fluoroscópica sólo puede ser vista sin iluminación ambiente, a oscuras, con la consiguiente pérdida debido a las características de visión del ojo humano y el inconveniente de la adaptación a la oscuridad[21].

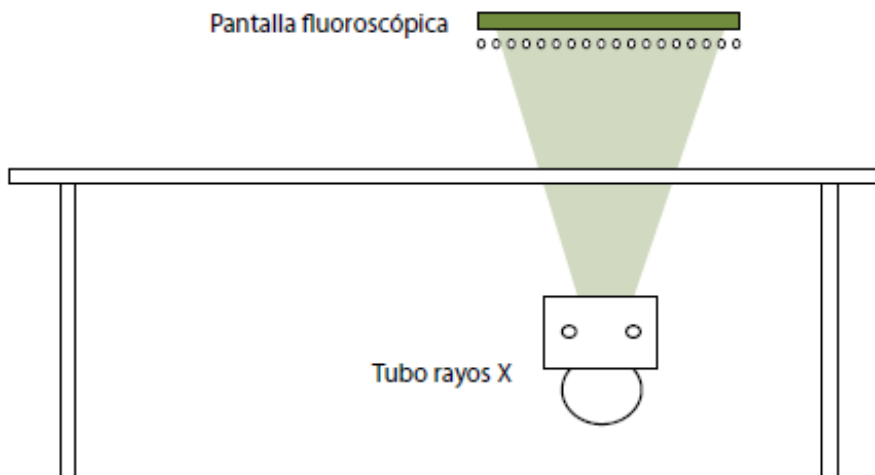


Ilustración 11. Esquema de la fluoroscopia.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 94

4.2.12. Protección radiológica operacional

En esta sección se nombran algunos conceptos fundamentales que aplican a protección radiológica operacional basados en la resolución 482 de 2018 del ministerio de Salud y Protección Social, la resolución 181434 de diciembre 5 de 2002 del ministerio de Minas y Energía de Colombia, la publicación SSG-46 de la OIEA, la publicación 103 y 105 del ICRP y material del CSN.

4.2.12.1. Protección radiológica

El objetivo primordial de la protección radiológica es ofrecer a la humanidad un nivel adecuado de defensa contra los efectos nocivos de la radiación ionizante, sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas de esas exposiciones. En la mayoría de las situaciones derivadas de las aplicaciones médicas de la radiación, las fuentes radiactivas se utilizan deliberadamente para la exposición de personas[1].

4.2.12.2. Optimización (Principio ALARA)

El principio de optimización de la protección, la probabilidad de incurrir en exposiciones, el número de personas expuestas y la magnitud de sus dosis individuales deberían ser todos mantenidos tan bajo como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales. Esto significa que el nivel de protección debería ser el mejor en las circunstancias predominantes, maximizando el margen del beneficio sobre el daño. A fin de evitar resultados fuertemente injustos de este procedimiento de optimización, debería haber limitaciones de las dosis o de los riesgos a los individuos debidos a una fuente en particular (dosis o restricciones de riesgo y niveles de referencia)[8].

4.2.12.3. Trabajador Ocupacionalmente Expuesto (TOE)

Aquellas personas sometidas a una exposición a causa de su trabajo, derivada de las prácticas a las que se refiere el reglamento que pudieran entrañar dosis anuales superiores a alguno de los límites de dosis fijados para los miembros del público[3].

4.2.12.4. Exposición del público

Cualquier individuo de la población considerado aisladamente, con exclusión explícita de los trabajadores expuestos y estudiantes durante sus horas de trabajo habitual y las personas sometidas a exposición por tratamientos médicos y exposiciones voluntarias para ayudar a pacientes o participar en programas de investigación médica o biomédica[3].

4.2.12.5. Exposiciones médicas

Aquellas que involucran la exposición deliberada de personas (pacientes) a radiación ionizante en procedimientos médicos de diagnóstico o terapia[7].

4.2.12.6. Zona supervisada

Toda zona no definida como zona controlada, pero en la que se mantienen bajo vigilancia las condiciones de exposición ocupacional, aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad concretas[9].

4.2.12.7. Zona controlada

Es toda zona en la que son o pudieran ser necesarias medidas de protección y disposiciones de seguridad específicas para:

- a) Controlar las exposiciones normales o prevenir la dispersión a contaminación en las condiciones normales de trabajo.
- b) Prevenir las exposiciones potenciales, o limitar su magnitud[9].

4.2.12.8. Señalización de zonas

Las zonas controladas y vigiladas estarán debidamente delimitadas y señalizadas. El riesgo de exposición a radiaciones ionizantes vendrá señalado utilizando su símbolo internacionalmente aceptado: Trébol magenta sobre amarillo[11].



Ilustración 12. Trébol magenta sobre amarillo, símbolo internacionalmente aceptado para radiación.

Fuente:http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Tecnovigilancia/Primer_Encuentro_Distrital_de_Tecnovigilancia/Resoluci%C3%B3n_482_de_2018_SDS_Bogot%C3%A1.pdf

4.2.12.9. Radiodiagnóstico de alta complejidad

Practica dedicada al diagnóstico y tratamiento de enfermedades mediante el uso de métodos diagnósticos con imágenes obtenidas a través de radiación ionizante. Los métodos diagnósticos incluyen radiología intervencionista[11].

4.2.12.10. Radiodiagnóstico de mediana complejidad

Practica dedicada al diagnóstico y de enfermedades mediante el uso de métodos diagnósticos con imágenes obtenidas a través de radiación ionizante. Dentro de estos métodos se incluye la tomografía computarizada, mamografía, procedimientos fluoroscópicos, los arcos en C[11].

4.2.12.11. Radiación ionizante

Para los efectos de protección radiológica, es la radiación necesaria para producir pares de iones en materia biológica [11].

4.2.13. Efectos biológicos de la radiación

Los efectos biológicos provocados por los diversos tipos de radiación ionizante son el resultado de un número importante de fenómenos desatados por el paso de dicha radiación a través de un medio biológico. Los efectos biológicos de la radiación pueden ser agrupados en dos tipos: efectos deterministas (reacciones tisulares) y efectos estocásticos (cáncer y efectos hereditarios)[8].

4.2.13.1. Efectos deterministas (reacciones tisulares)

Si el efecto aparece sólo cuando mueren numerosas células en un órgano o tejido, el efecto será sólo observable clínicamente si la dosis de radiación está por encima de un [valor] umbral. La magnitud de ese umbral dependerá de la tasa de dosis (es decir, dosis por unidad de tiempo) y la transferencia lineal de energía de la radiación, el órgano o tejido irradiado, el volumen de la parte irradiada del órgano o tejido, y el efecto clínico de interés. Con dosis crecientes, por encima del umbral, la probabilidad de ocurrencia se elevará abruptamente al 100 % (es decir, cada persona expuesta mostrará el efecto) y la severidad del mismo aumentará con la dosis. La Comisión llama a estos efectos “deterministas” (reacciones tisulares) y un análisis minucioso e información sobre los efectos deterministas puede encontrarse en la ICRP (2007a). Tales efectos pueden ocurrir en la aplicación de la radiación ionizante en radioterapia, y en los procedimientos intervencionistas, en particular, cuando los procedimientos intervencionistas guiados fluoroscópicamente son complejos y requieren tiempos de radioscopia muy largos o la adquisición de numerosas imágenes[8].

4.2.13.2. Efectos estocásticos (cáncer y efectos hereditarios)

Existe suficiente evidencia en la biología celular y molecular que el daño por radiación al ADN en una única célula puede conducir a una célula transformada, todavía capaz de reproducirse. A pesar de las defensas del cuerpo, normalmente muy efectivas, existe una pequeña probabilidad que este tipo de daño, promovido por la influencia de otros agentes no necesariamente asociados con la radiación, pueda llevar a una condición maligna (efecto somático). Como la probabilidad es baja, sólo ocurrirá en algunas de las células expuestas. Si el daño inicial es a células germinales en las gónadas, pueden ocurrir efectos hereditarios[25].

La probabilidad de un efecto estocástico atribuible a la radiación aumenta con la dosis y probablemente, a dosis bajas, sea proporcional a la dosis. A dosis y tasas de dosis más altas, frecuentemente la probabilidad aumenta con la dosis más abruptamente que con una proporcionalidad simple. A dosis aún más altas, cercanas al umbral de los efectos deterministas (reacciones tisulares), la probabilidad aumenta más lentamente, y aún puede comenzar a disminuir, debido al efecto competitivo de la muerte celular. Estos efectos, tanto somáticos como hereditarios, son llamados “estocásticos”. Cuando la radiación ionizante es utilizada en procedimientos médicos la probabilidad de tales efectos aumenta[25].

Aunque un único examen radiológico lleve sólo a un pequeño aumento de la probabilidad de inducción de cáncer en un paciente, en los países industrializados cada miembro de la población se somete, como término medio, cada año a tal examen; por lo tanto, el riesgo acumulado aumenta en consecuencia. Los cálculos realizados bajo la suposición de la acción de la radiación, según el modelo lineal sin umbral, estiman que la proporción de muertes por cáncer en una población en general y que podría ser atribuida a la exposición de procedimientos radiológicos, puede alcanzar un nivel de una fracción de uno hasta un valor de pocas unidades por ciento del total de la mortalidad por cáncer (NAS/ NRC, 2006). Además, el riesgo no está distribuido uniformemente en la población. Algunos grupos de pacientes, son examinados con mayor frecuencia debido a su estado de salud. También, algunos grupos muestran una sensibilidad más alta que la media para la inducción de cáncer (p. ej. embrión/ feto, bebés, niños pequeños, aquellos con susceptibilidad genética)[25].

Así mismo, los cánceres que se manifiestan tempranamente en la vida causan una mayor pérdida de años de vida que los cánceres que se manifiestan a una edad mayor. Todas estas circunstancias indican que son principios indispensables de la protección radiológica en medicina una apropiada justificación del uso de la radiación y la optimización de la protección[8].

4.3. MARCO TEÓRICO

Como se había explicado en capítulos anteriores, el presente trabajo busca analizar la construcción y el desarrollo de una herramienta informática que permita la cuantificación y evaluación digital de la dosis efectiva $H_p(10)$ recibida por los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiación ionizante, la cual servirá para considerar estos últimamente nombrados a fin de lograr una seguridad durante el empleo de estas radiaciones. Es por esto que en este capítulo se presentan los fundamentos teóricos básicos de la Protección Radiológica y la dosimetría personal que soportan los conceptos definidos en el marco conceptual.

Dado que este marco se centrará en textos científicos, artículos científicos de revistas indexadas y libros de química, física moderna y mecánica cuántica, resulta fundamental dar cuenta de la definición que aquí se les atribuye, son ejes teóricos sobre los que se apoyan la lectura argumentativa del presente tema en desarrollo. Para empezar, entenderemos la teoría atómica, la estructura atómica, la radiactividad, la interacción de la radiación con la materia y aspectos fundamentales de la dosimetría personal.

4.3.1. La teoría atómica

En el siglo V a.C., el filósofo griego Demócrito expresó la idea de que toda la materia estaba formada por muchas partículas pequeñas e indivisibles que llamó átomos (que significa indestructible o indivisible). A pesar de que la idea de Demócrito no fue aceptada por muchos de sus contemporáneos (entre ellos, Platón y Aristóteles), ésta se mantuvo. Las evidencias experimentales de algunas investigaciones científicas apoyaron el concepto del "atomismo", lo que condujo, de manera gradual, a las definiciones modernas de elementos y compuestos. En 1808, un científico inglés, el profesor John Dalton, formuló una definición precisa de las unidades indivisibles con las que está formada la materia y que llamamos átomos[17].

4.3.2. Estructura atómica

Con base en la teoría atómica de Dalton, un átomo se define como la unidad básica de un elemento que puede intervenir en una combinación química. Dalton describió un átomo como una partícula extremadamente pequeña e indivisible. Sin embargo, una serie de investigaciones iniciadas alrededor de 1850, y que continuaron hasta el siglo XX, demostraron claramente que los átomos tienen una estructura interna, es decir, que están formados por partículas aún más pequeñas, llamadas partículas subatómicas[17]. Estas investigaciones condujeron al descubrimiento de tres partículas: electrones, protones y neutrones.

Con referencia a lo anterior, dadas las tres partículas subatómicas de esta estructura, es de gran importancia para el estudio del presente trabajo, explicar un

poco sobre el electrón, según se ha visto en los capítulos anteriores la radiación ionizante se origina en los orbitales de los átomos como consecuencia de la acción de los electrones rápidos sobre la corteza del átomo. Para entender y comprender la dosis efectiva que es impartida a los trabajadores durante procedimientos intervencionistas que se realizan en la Clínica por este tipo de radiaciones, es importante entender primero como interactúan y como se producen éstas en la estructura en la unidad básica, el átomo.

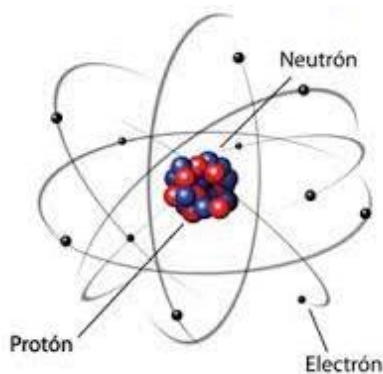


Ilustración 13. Estructura atómica.

Fuente: <https://emersonrincon.blogspot.com/2015/08/estructura-atmica-estructura-del-atomo.html>

4.3.2.1. El electrón

En la década de 1890, muchos científicos estaban interesados en el estudio de la radiación, la emisión y transmisión de la energía a través del espacio en forma de ondas. La información obtenida por estas investigaciones contribuyó al conocimiento de la estructura atómica. Para investigar sobre este fenómeno se utilizó un tubo de rayos catódicos, precursor de los tubos utilizados en los televisores como se puede observar en la ilustración 14.

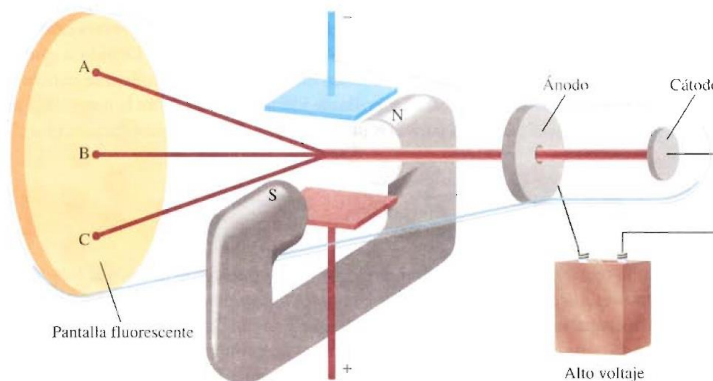


Ilustración 14. Tubo de rayos catódicos con campo eléctrico perpendicular a la dirección de los rayos catódicos y a un campo magnético externo.

Fuente: R. Chang and W. College, Química, Séptima ed. México, D.F.: D'vinni Ltda., 2002, pág. 38.

Consta de un tubo de vidrio del cual se ha evacuado casi todo el aire. Si se colocan dos placas metálicas y se conectan a una fuente de alto voltaje, la placa con carga negativa, llamada cátodo, emite un rayo invisible. Este rayo catódico se dirige hacia la placa con carga positiva, llamada ánodo, que atraviesa por una perforación y continúa su trayectoria hasta el otro extremo del tubo. Cuando dicho rayo alcanza el extremo, cubierto de una manera especial, produce una fuerte fluorescencia o luz brillante.

En algunos experimentos se colocaron, por fuera del tubo de rayos catódicos, dos placas cargadas eléctricamente y un electroimán. Cuando se conecta el campo magnético y el campo eléctrico permanece desconectado, los rayos catódicos alcanzan el punto A del tubo. Cuando está conectado solamente el campo eléctrico, los rayos llegan al punto C. Cuando tanto el campo magnético como el eléctrico están desconectados, o bien cuando ambos están conectados, pero se balancean de forma que se cancelan mutuamente, los rayos alcanzan el punto B. De acuerdo con la teoría electromagnética, un cuerpo cargado, en movimiento, se comporta como un imán y puede interactuar con los campos magnéticos y eléctricos que atraviesa. Debido a que los rayos catódicos son atraídos por la placa con carga positiva y repelidos por la placa con carga negativa, deben consistir en partículas con carga negativa. Actualmente, estas partículas con carga negativa se conocen como electrones[17].

La radiación como es el caso de los rayos X, cuando penetra en la materia y sobre todo en el caso de partículas cargadas como los electrones, fundamentalmente suele arrancar electrones de los átomos circundantes mediante un proceso que se conoce con el nombre de ionización.

De acuerdo con los razonamientos anteriores, la importancia que tienen los conceptos de estructura atómica y electrón para empezar el planteamiento del trabajo es entender que cuando los electrones chocan contra los átomos del metal del ánodo (normalmente tungsteno), interactúan con ellos y transfieren su energía cinética con los electrones orbitales o los núcleos de los átomos del blanco dando lugar a diferentes emisiones energéticas, como lo es en este caso, los rayos X. Es por lo anterior, que es pertinente comprender estas interacciones para tener una idea clara de la base principal de la existencia de la dosis de exposición que es absorbida por los trabajadores, y que a través del cumplimiento del objetivo general de este trabajo se busca vigilar y controlar.

4.3.3. Radiactividad

En 1895, el físico alemán Wilhelm Röntgen observó que cuando los rayos catódicos incidían sobre el vidrio y los metales, hacían que éstos emitieran unos rayos desconocidos. Estos rayos muy energéticos eran capaces de atravesar la materia, oscurecían las placas fotográficas, incluso cubiertas, y producían fluorescencia en

algunas sustancias. Debido a que estos rayos no eran desviados de su trayectoria por un imán, no estaban constituidos por partículas con carga, como los rayos catódicos. Röntgen les dio el nombre de rayos X, por su naturaleza desconocida.

Poco después del descubrimiento de Röntgen, Antoine Becquerel, profesor de física en París, empezó a estudiar las propiedades fluorescentes de las sustancias. Accidentalmente encontró que algunos compuestos de uranio oscurecían las placas fotográficas cubiertas, incluso en ausencia de rayos catódicos. Al igual que los rayos X, los rayos provenientes de los compuestos de uranio resultaban altamente energéticos y no los desviaba un imán, pero diferían de los rayos X en que se emitían de manera espontánea. Marie Curie, discípula de Becquerel, sugirió el nombre de radiactividad para describir la emisión espontánea de partículas y/o radiación. Desde entonces se dice que un elemento es radiactivo si emite radiación de manera espontánea.

La desintegración o descomposición de las sustancias radiactivas, como el uranio, produce tres tipos de rayos diferentes. Dos de estos rayos son desviados de su trayectoria por placas metálicas con cargas opuestas (ilustración 15). Los **rayos alfa (α)** constan de partículas cargadas positivamente, llamadas partículas α , que se apartan de la placa con carga positiva. Los **rayos beta (β)**, o partículas β , son electrones y se alejan de la placa con carga negativa. Un tercer tipo de radiación consta de rayos de alta energía llamados **rayos gamma (γ)**. Al igual que los rayos X, los rayos γ no presentan carga y no los afecta un campo externo [26].

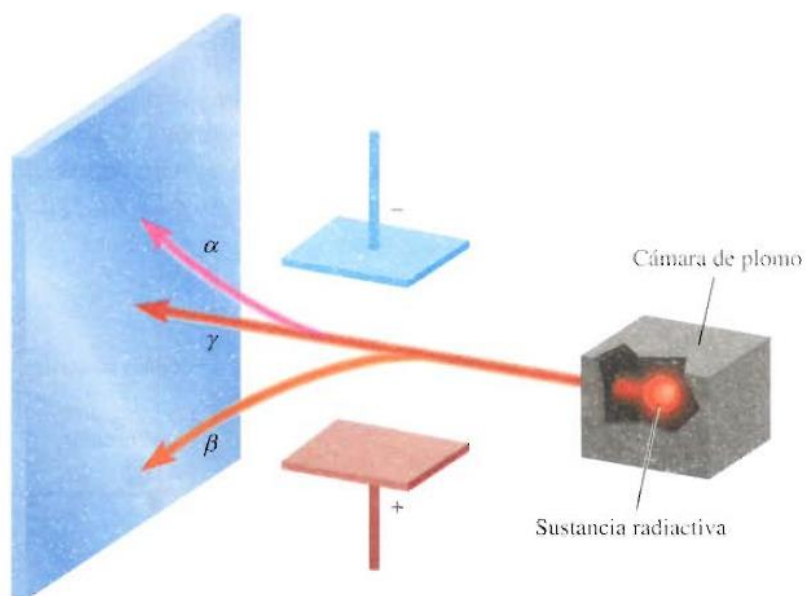


Ilustración 15. Los tres tipos de rayos emitidos por elementos radiactivos.

Fuente: R. Chang and W. College, Química, Séptima ed. México, D.F.: D'vinni Ltda., 2002, pág. 40.

Con el incremento de la aplicación de nuevas tecnologías en radiodiagnóstico e intervencionismo, es una necesidad controlar este tipo de radiaciones, particularmente en este trabajo se hace referencia a los rayos X, debido que en la Clínica Los Rosales se trabaja con este tipo de radiación en los procedimientos quirúrgicos. Se busca con el control a estas exposiciones mediante las lecturas mensuales de la dosimetría, elevar los niveles de precisión en las dosis entregadas en los tratamientos radiantes. La dosimetría es una de las formas a las cuales se puede recurrir para la comprobación final de los límites en las dosis entregadas a los pacientes y trabajadores para la corrección de posibles errores que pueden causar daño a los resultados de estas prácticas médicas. En el ámbito de la protección radiológica, la dosimetría busca comprender los principales procesos de interacción de las radiaciones con la materia que atraviesan, es importante para poder proceder al estudio de detección de radiación, de las magnitudes y unidades asociadas con la radiación e incluso de los efectos biológicos que producen al incidir sobre la materia viva.

4.3.4. Radiación electromagnética

Una onda electromagnética tiene un componente de campo eléctrico y un componente de campo magnético. Ambos componentes tienen la misma longitud de onda y frecuencia y, por tanto, igual velocidad, pero viajan en planos perpendiculares entre sí como se evidencia en la ilustración 16. La radiación electromagnética es la emisión y transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas viajan alrededor de 3×10^8 metros por segundo en el vacío. Por convención, la velocidad de las ondas electromagnéticas, que comúnmente se llama velocidad de la luz, se expresa con el símbolo C .

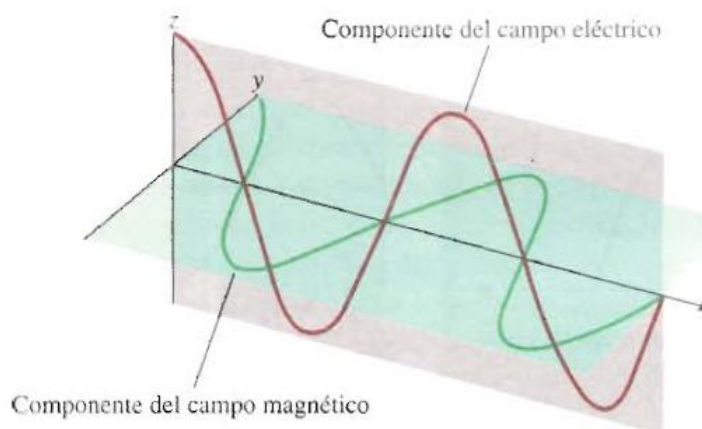


Ilustración 16. Componentes del campo eléctrico y del campo magnético de una onda electromagnética.

Fuente: R. Chang and W. College, Química, Séptima ed. México, D.F.: D'vinni Ltda., 2002, pág. 248.

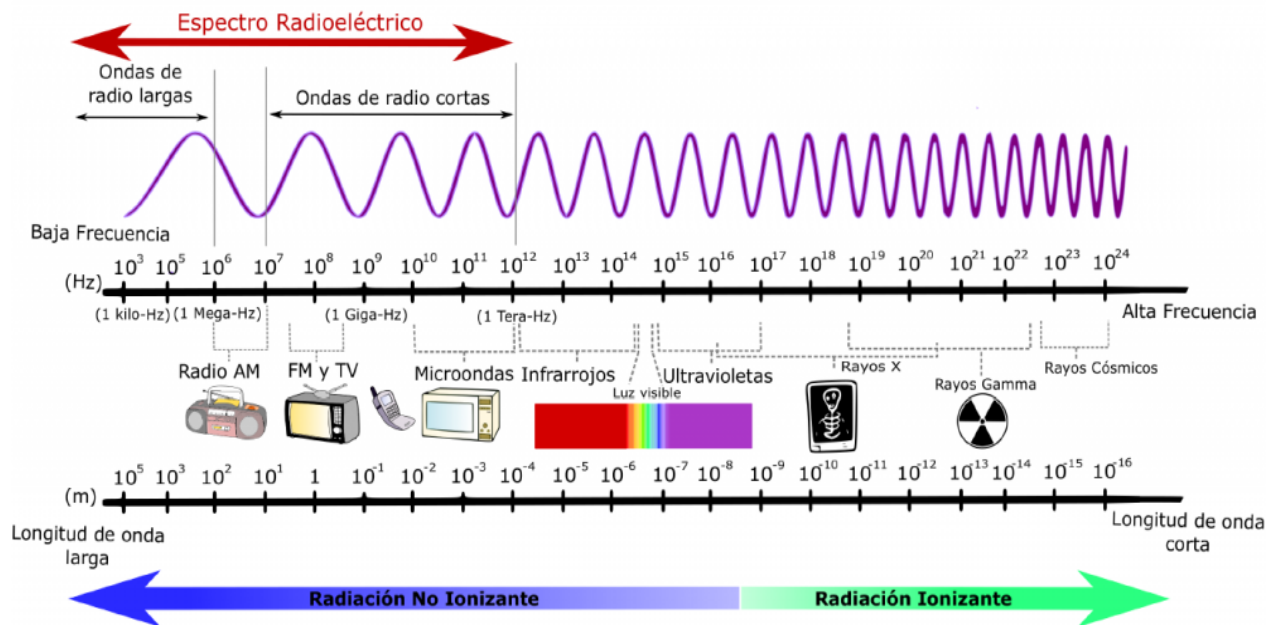


Ilustración 17. Espectro electromagnético.

Fuente: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>.

La ilustración 17, muestra diversos tipos de radiación electromagnética con distinta longitud de onda y frecuencia. Las ondas largas de radio se transmiten mediante grandes antenas, como las que se utilizan en las telecomunicaciones. Las ondas de luz visible, más cortas, se deben al movimiento de los electrones en los átomos y moléculas. Las ondas más cortas, que también tienen la frecuencia más alta, se asocian a los rayos γ (gamma), que se forman durante los cambios ocurridos dentro del núcleo del átomo. A medida que aumenta la frecuencia, la radiación es más energética. Así, la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos γ son radiaciones de alta energía[17].

Las radiaciones ionizantes están formadas por partículas o por ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia con la suficiente energía como para producir la ionización de un átomo y romper los enlaces atómicos que mantienen las moléculas unidas en las células. Estas alteraciones pueden ser más o menos graves según la dosis.

Como se puede observar en el espectro electromagnético, los rayos X; radiación de alta energía, con la que se ha venido mencionando continuamente, por el enfoque que se le da al trabajo en el campo aplicativo en la Clínica, brindan el conocimiento que resulta clave para comprender cómo afectan las interacciones del haz de estos

rayos con los tejidos y con la obtención de la imagen médica, es por lo tanto, como se puede conocer cuál será la dosis absorbida en cualquier punto del paciente, cuál será la calidad de la imagen, cuál será la cantidad de radiación dispersa, etc. Así mismo, manipulando la potencia e intensidad del equipo generador de rayos X, se puede modificar estos parámetros ya mencionados: la dosis absorbida y la calidad de imagen.

Con el conocimiento adecuado del espectro de los haces de rayos X, se puede aplicar la técnica radiológica precisa por procedimiento requerido, esto sin la necesidad de suministrar dosis innecesarias, por lo tanto, va a contribuir a minimizar la dosis administrada al paciente y al TOE.

4.3.5. Interacción de los Rayos X con la materia

La interacción de la radiación con la materia concibe su desarrollo aproximadamente en 1905, solo cinco años después de que Planck presentara su teoría cuántica, Albert Einstein utilizó la teoría para resolver otro misterio de la física, el efecto fotoeléctrico. En 1922 la confirmación experimental realizada por Arthur Holly Compton de que los rayos X se comportan como partículas con una cantidad de movimiento hf/c , dando así a conocer el efecto Compton[26].

Como se ha dicho anteriormente, el haz de rayos X emergente del tubo, esencialmente uniforme en un plano perpendicular a su eje, interacciona con los tejidos del paciente al atravesarlo y, debido a esa interacción, emerge al otro lado del paciente con información sobre las estructuras atravesadas, información que se traducirá en una imagen al incidir sobre la película o sobre otro receptor alternativo. Aunque la radiación electromagnética interacciona de modos muy diversos con la materia, los procesos relevantes desde el punto de vista de la formación de la imagen a la energía de los rayos X que se emplean en radiodiagnóstico pueden reducirse a dos fundamentales: el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton[21].

4.3.5.1. interacción fotoeléctrica

Cuando un fotón interacciona con un átomo transfiriendo toda su energía a un electrón de las capas internas, *K* o *L* por ejemplo, este electrón sale con una energía que es la diferencia entre la del fotón incidente y su energía de enlace. La consecuencia es que el fotón desaparece completamente y se trata de un proceso de absorción pura. Aunque la vacante producida dará lugar a su relleno con un electrón de una capa superior, con emisión de un fotón de energía característica, este fotón tendrá una dirección aleatoria y, en la inmensa mayoría de los casos, distinta de la del fotón incidente. En definitiva, cuando se produce una interacción por efecto fotoeléctrico, el haz pierde un fotón que ya no llegará al sistema de imagen. En la ilustración 18, se muestra un esquema de este proceso.

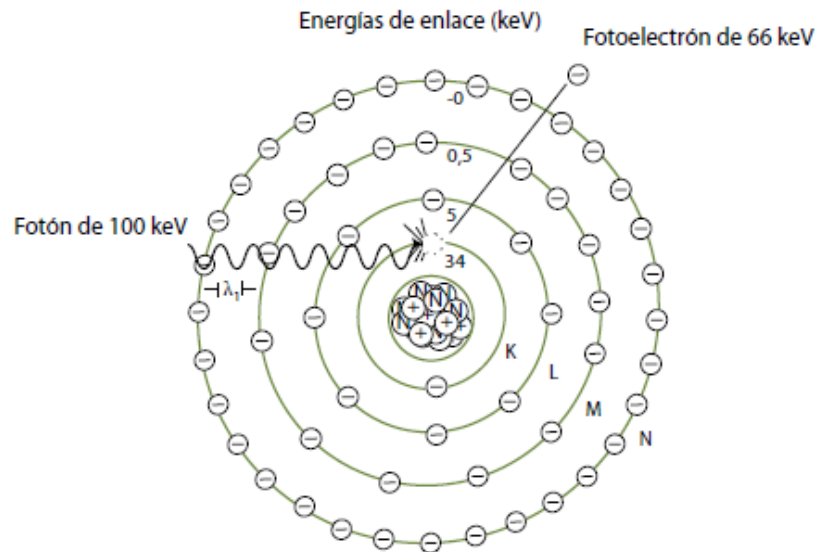


Ilustración 18. Absorción fotoeléctrica.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 61.

La absorción fotoeléctrica es un fenómeno preponderante cuando la energía del fotón incidente es superior pero próxima a la de enlace de un electrón atómico. Esta interacción también explica por qué la radiografía convencional emplea energías de rayos X relativamente moderadas y cómo al incrementarse la energía se reduce drásticamente el contraste de las imágenes[21].

4.3.5.2. Interacción Compton

La dispersión Compton, o dispersión inelástica, tiene lugar de manera predominante cuando la energía del fotón incidente es muy superior a la energía de enlace del electrón afectado. Cuando se produce (véase ilustración 19), el fotón no es absorbido sino dispersado con un cambio de dirección y una pérdida de energía que es pequeña. La probabilidad de la interacción Compton no está correlacionada con el número atómico sino con la densidad electrónica del material, que es aproximadamente constante para todos los componentes de los tejidos biológicos con la excepción del hidrógeno, que presenta un valor cercano al doble de lo normal[21].

Además, la interacción Compton reduce su probabilidad al aumentar la energía, pero de manera inversamente proporcional a la primera potencia de ésta. En lo que, afecta a la formación de imágenes, se puede resumir que la interacción Compton distingue poco entre unos materiales biológicos y otros, que da lugar a la aparición de radiación dispersa (la cual llegará al soporte de imagen sin correlación con las

estructuras atravesadas por el haz) y que va siendo más dominante que el efecto fotoeléctrico conforme aumenta la energía de los rayos X[21].

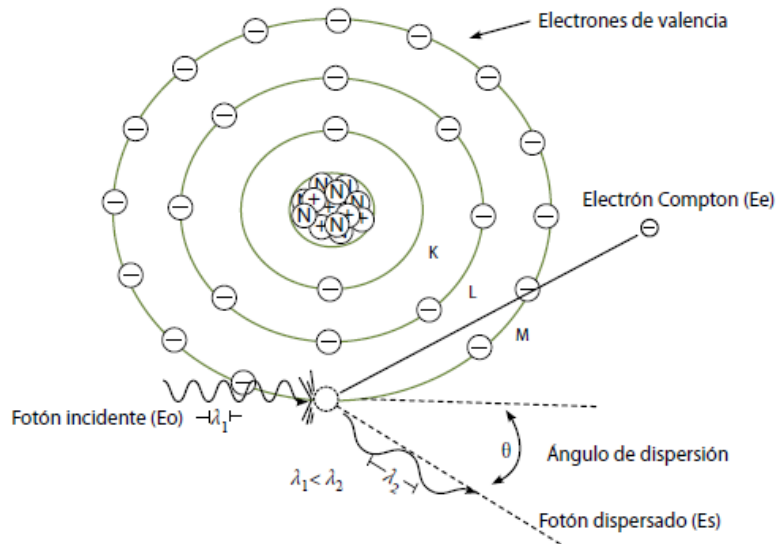


Ilustración 19. Dispersión Compton.

Fuente: A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, *Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Madrid, 2012. Pág. 63.

Este tipo de interacciones son útiles para la comprensión de la radiación electromagnética.

Un uso especial de este tipo de interacciones desde la experiencia profesional durante 3 años en el manejo de equipos generadores de rayos X en el campo de la ingeniería biomédica, se puede explicar que para potenciar al máximo un equipo generador de radiación X que permita obtener una imagen con muy buen contraste, se debe usar tensiones muy bajas, aproximadamente de 25 y 30 kV. En estos rangos es donde el efecto fotoeléctrico predomina sobre el efecto Compton y proporciona una imagen adecuada. Sin embargo, los fotones del espectro donde sus energías estén por debajo de los 15 kV difícilmente pueden llegar al intensificador de imagen y con toda probabilidad no contribuyen a la formación de una buena imagen. Como se explicó anteriormente, el uso de uno u otro kV va a afectar la exposición que sea suministrada, pero también afecta el contraste que el haz de rayos X transmite a la imagen.

Por radiaciones ionizantes resulta oportuno recordar que son capaces de ionizar o excitar átomos por medio de las interacciones descritas anteriormente. Para tratar de explicar los efectos de estas radiaciones sobre los seres vivos, además de conocer los mecanismos de interacción, es de vital importancia conocer en cada

punto la energía impartida por unidad de masa, dado que de esto depende la respuesta biológica de una persona.

4.3.6. Dosimetría Personal

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando, se había explicado que la dosimetría personal constituye una parte fundamental de la práctica de la Protección Radiológica ya que contribuye a su objetivo principal que es asegurar un nivel apropiado de protección de las personas sin limitar de forma indebida las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición a radiaciones[5].

La dosimetría de la radiaciones determina la cantidad de energía y su distribución, para esto se hace necesario no sólo conocer cómo se producen las interacciones sino también que efectos producen en cada punto. Desde el punto de vista de un ser vivo, específicamente en el actual documento, se hace referencia a los trabajadores ocupacionalmente expuestos de la Clínica Los Rosales, donde conocer la radiación de energía impartida a través de la dosis absorbida permite evaluar los efectos sobre la exposición de dichos trabajadores.

En base a lo anteriormente expuesto, es oportuno retomar que con el trabajo en desarrollo se busca que el OPR que será designado por la institución, ofrezca las mejores prácticas, y el primer paso para verificar su acierto es vigilar la dosis impartida al paciente mediante los reportes dosimétricos entregados mensualmente, criterio primordial para comparar, analizar y actuar. Es misión también del OPR la elaboración de recomendaciones y procedimientos para asegurar un nivel apropiado de protección a los TOE's que pertenecen a la Clínica.

4.3.6.1. Técnicas dosimétricas en dosimetría personal externa

Todas las técnicas dosimétricas se basan en el hecho de que el elemento sensible del dosímetro exhibe unas propiedades físicas diferentes a las normales cuando es sometido a la exposición a radiaciones ionizantes. Esta variación en sus propiedades es detectable y cuantificable y puede servir para la medida de dosis de radiación, una vez que el dosímetro es calibrado adecuadamente. Los dosímetros personales pueden dividirse en dosímetros activos y pasivos según necesiten o no de una fuente de alimentación para su funcionamiento. Esta característica condiciona sus propiedades dosimétricas y su empleo en operación[5].

A continuación, se mencionan algunas de las técnicas más utilizadas en dosimetría personal externa, en particular las de aplicación de dosis debidas a radiación X.

- Dosimetría de película
- Dosimetría termoluminiscente
- Dosimetría electrónica de lectura directa

En la Clínica los Rosales se contrata el servicio de dosimetría personal con la empresa Sievert S.A.S, la cual se mencionó anteriormente. Esta empresa suministra dosímetros personales que cuentan con 4 detectores TLD independientes (Dosímetros termoluminiscentes) y cada uno con una filtración diferente que garantiza una respuesta eficaz a radiación X, gamma, beta y neutrones, los cuales permiten estimar dosis relativamente bajas de hasta (10 μ Sv). Este tipo de dosímetro puede identificarse en la ilustración 20.



Ilustración 20. Dosímetros termoluminiscentes.

Fuente: <http://dosimetriapersonal.com/a/dosimetros-colombia/dosimetria-personal-por-termoluminiscencia>

Dosimetría termoluminiscente

Básicamente la termoluminiscencia es la emisión de luz cuando un material que ha sido expuesto a radiación ionizante es calentado. Los materiales termoluminiscentes son sólidos aislantes o semiconductores como lo son el fluoruro de calcio y el fluoruro de litio; algunos de los materiales empleados con mayor frecuencia para este propósito[16], en los que la radiación ionizante induce la creación de pares electrón-hueco que permanecen atrapados en imperfecciones de la red cristalina (interrupciones localizadas en arreglos atómicos o iónicos) hasta que el material expuesto es calentado posteriormente.

La estructura cristalina es un concepto teórico que permite comprender cómo están formados los materiales. El modelo atómico de estos, puede poseer defectos. Estos defectos son las imperfecciones de la estructura cristalina, que son alteraciones o

discontinuidades puntuales de la red, provocadas por uno o varios átomos. Esto ocurre por el movimiento de átomos durante el calentamiento o el procesamiento del material. Alguno de los defectos de la red son: vacancias, átomos intersticiales, defecto de Frenkel y defecto de Scottky[27].

La luz emitida procede de las recombinaciones o desexcitaciones radiactivas que se producen cuando, al calentar el sólido, se le suministra suficiente energía como para liberar los portadores de carga atrapados.

Comúnmente los materiales termoluminiscentes son el producto de una síntesis de un material inorgánico que son sustancias policristalinas que se obtiene en forma de polvos. Sin embargo, en muchos casos se requiere que el material sea obtenido en formas especiales tales como monocristales y películas delgadas. La principal característica de los materiales termoluminiscentes como los explicados anteriormente, es que para poder ser empleado en dosimetría, la luz emitida al ser calentados sea proporcional a la dosis de radiación absorbida[28].

El mecanismo de la termoluminiscencia puede ser explicado mediante el diagrama de bandas de energía de los materiales cristalinos que se presenta en la ilustración 21. La presencia de defectos o impurezas (denominados dopantes o activadores) en la red cristalina introduce niveles discretos de energía dentro de la zona prohibida constituyendo lo que se conoce como estructura de trampas del material[28].

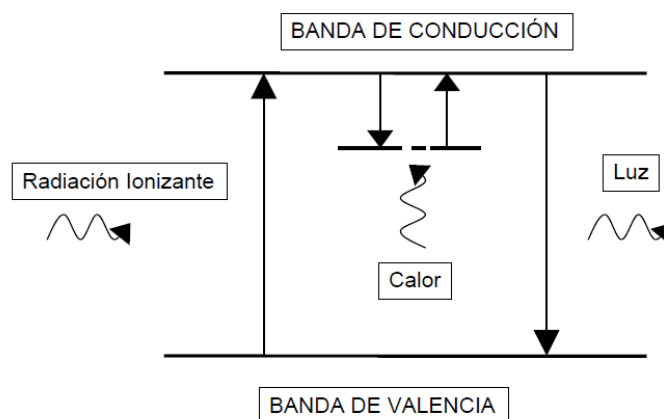


Ilustración 21. Esquema del mecanismo de la termoluminiscencia.

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, "Dosis de Radiación," Madrid, 2010.

Estos dosímetros deben ser portados por cada uno de los trabajadores ocupacionalmente expuestos de la Clínica. Idealmente, los dosímetros personales son dispositivos diseñados para proporcionar un valor fiable de la dosis equivalente personal, $H_p(10)$; que hace referencia a la estimación razonablemente de la dosis

efectiva, Hp (0.07); que es la magnitud operacional considerada para la estimación del equivalente de dosis en la piel y las extremidades y Hp (3) que se considera una estimación conservadora de la dosis equivalente en cristalino.

Para un buen uso del dosímetro personal y que sus mediciones sean confiables, éstos deben llevarse puestos durante toda la jornada laboral y luego de ser utilizados es conveniente guardarlos y protegerlos de posibles irradiaciones. Deben colocarse en un lugar representativo de la parte más expuesta del cuerpo, generalmente en el tórax a nivel de la boca del esternón. Nunca debe ser deliberadamente expuesto cuando no lo lleva puesto el usuario. El dosímetro asignado a una persona no debe ser utilizado por ninguna otra persona, cabe recordar que este es un instrumento de medición y que como tal deben tomarse ciertos cuidados; tener en cuenta además que la película puede ser afectada por el calor y la humedad debido a que pueden influir en los resultados.

Para el establecimiento de los indicadores de dosis equivalente personal de este trabajo en desarrollo, se realizarán exploraciones radiológicas en campo a procedimientos quirúrgicos intervencionistas (donde se utilicen los arcos en C) más frecuentes efectuadas en cada una de las salas de cirugía, tomando los procedimientos estándar por la clínica: tórax, cráneo, pelvis, columna lumbar, extremidades inferiores y superiores. Estas exploraciones en campo se explicarán a fondo en la fase de investigación del proyecto.

Debido a la complejidad de los procedimientos intervencionistas, se podría utilizar niveles de indicadores para estimar parámetros dosimétricos. Una primera aproximación sería anotar el tiempo de fluoroscopia y el número total de imágenes adquiridas. Una segunda, sería la adecuada colocación sobre los TOE's de estos dosímetros. La tercera consideración a tomar, es aplicar la técnica radiológica adecuada para cada procedimiento.

En el orden de las ideas anteriores, es como a partir de la dosimetría personal externa se busca desarrollar la herramienta informática que busca controlar, vigilar y brindar cierto nivel de protección a los trabajadores ocupacionalmente expuestos de la Clínica Los Rosales en la ciudad de Pereira.

4.4. MARCO LEGAL

Este capítulo presenta la normatividad legal que reglamentan el ámbito de las radiaciones ionizantes; se presentan una serie de publicaciones, guías técnicas y recomendaciones internacionales como también resoluciones, decretos y leyes nacionales que justifican y soportan el tema de protección radiológica y dosimetría de las radiaciones, a las cuales fueron necesarias recurrir para soportar el presente trabajo.

A primera instancia, se hará una referencia de recomendaciones internacionales que se tiene en cuenta frente al uso de radiaciones ionizantes, protección radiológica, dosimetría de las radiaciones y salud ocupacional para el personal expuesto y los pacientes. Como existe una diversidad de normas, se establecerán en este trabajo la documentación obtenida por el OIEA y la ICRP quienes recomiendan cuidar la seguridad nacional e internacional en el uso de rayos X.

La OIEA actualmente cuentan con 170 países miembros hasta el 30 de abril de 2018[29], entre ellos Colombia, quien inicia en el año 1960 su admisión como estado miembro. Estas organizaciones han elaborado a través de sus experiencias, estudios, investigaciones y publicaciones las recomendaciones en el marco legal del uso adecuado de las radiaciones ionizantes.

A continuación, se enumeran algunas de las principales recomendaciones de carácter técnico e informativo de estas organizaciones:

4.4.1. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)

El OIEA tiene su propia serie de publicaciones, guías y normas de seguridad de las cuales para la realización del presente trabajo se destacan las siguientes:

- **Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-46. Organismo Internacional de Energía Atómica. Safety Standards for protecting people and the environment[1].**

La guía recomienda la orientación y la práctica de las Normas Básicas de Seguridad en lo que respecta a las exposiciones médicas. Referencia las exposiciones para: los empleados, asesores especializados y profesionales de la atención médica. Se mencionan los aspectos específicos de la Protección Radiológica relativos a la exposición medica en radiología con fines de diagnóstico y de intervención y la optimización de la protección relativa a la exposición médica teniendo en cuenta el equipo, los aspectos operacionales, la dosimetría clínica y la garantía de calidad.

- **Occupational Radiation Protection, General safety guide No. GSG-7. Organismo Internacional de Energía Atómica. Safety Standards for protecting people and the environment[30].**

Brinda orientación sobre el control de las exposiciones normales y potenciales ocupacionales; las recomendaciones dadas en el proceso legal que se debe tener en un manual de protección radiológica. Está distribuido por capítulos de recomendaciones que demarcan una estructura completa de la protección y seguridad radiológica, las cuales son: Sistema para la protección radiológica ocupacional, limitación de dosis, optimización de la protección radiológica para las practicas, programas de protección radiológica, intervención en emergencias, y vigilancia de la salud.

- **OIEA. Technical Reports Series No 457. Dosimetría en radiodiagnóstico: un código internacional de prácticas del 2007[23].**

En este reporte se puede encontrar los valores establecidos como dosis bajas para los pacientes, la importancia del control dosimétrico, la evaluación del desempeño de los equipos como parte del proceso de aseguramiento de la calidad y además describe:

- ✓ Cantidades y unidades dosimétricas.
- ✓ Selección de la instrumentación.
- ✓ Establecimiento de un centro de calibración de diagnóstico.
- ✓ Un código de práctica para calibración de diagnóstico.
- ✓ Un código de práctica para medidas clínicas.

4.4.2. Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)

La ICRP se estableció en 1928 en el segundo Congreso Internacional de Radiología para responder a las crecientes preocupaciones sobre los efectos de la radiación ionizante observada en la comunidad médica. En ese momento se llamaba Comité Internacional de Protección contra Rayos X y Radios (IXRPC), pero se reestructuró para tener más en cuenta los usos de la radiación fuera del área médica y se le dio su nombre actual en 1950. Originalmente, la CIPR publicó sus recomendaciones y consejos como artículos en diversas revistas científicas en los campos de la medicina y la física. Desde 1959, la ICRP tiene su propia serie de publicaciones, desde 1977 en forma de una revista científica[31].

- **Publicación 103. Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica[7].**

Estas Recomendaciones revisadas para un Sistema de Protección Radiológica sustituyen formalmente las Recomendaciones previas de la Comisión de 1990;

y actualizan, consolidan y desarrollan las guías adicionales promulgadas desde 1990 sobre el control de la exposición procedente de fuentes de radiación. De este modo, las Recomendaciones actuales ponen al día los factores de ponderación de la radiación y de tejido en las magnitudes dosis equivalente y dosis efectiva y actualizan el daño producido por la radiación, en base a la última información disponible sobre la biología y la física de la exposición a radiación.

- **Publicación 105. Protección Radiológica en Medicina[8].**

Este informe fue preparado para sustentar las Recomendaciones 2007 de la Comisión respecto a la exposición médica de pacientes, incluyendo tanto a sus confortadores y cuidadores, como a voluntarios en la investigación biomédica. Se orienta a la adecuada aplicación de los principios fundamentales (justificación, optimización de la protección, y aplicación de límites de dosis) de las recomendaciones 2007 de la Comisión a dichos individuos.

- **Publicación 113. Capacitación y entrenamiento en Protección Radiológica para procedimientos diagnósticos e intervencionistas[32].**

La presente publicación profundiza considerablemente sobre las recomendaciones básicas publicadas en el ICRP 103 e ICRP 105 en relación a las diversas categorías de facultativos médicos y otros profesionales de asistencia médica que llevan a cabo o asisten en procedimientos diagnósticos e intervencionistas utilizando radiaciones ionizantes y terapia de medicina nuclear.

4.4.3. Normatividad Nacional

En Colombia la regulación y vigilancia de la protección y seguridad radiológica y la dosimetría clínica, se basan en las normas internacionales anteriormente mencionadas. En este apartado se revisarán los requisitos relacionados con la exposición a radiaciones ionizantes por estos entes nacionales encargados. A continuación, se enumeran algunas de las normas principales que se rigen en Colombia:

4.4.3.1. Ley 16 de 1960. El congreso de Colombia. Por la cual se aprueba el Estatuto del Organismo Intercontinental de Energía Atómica, suscrito en la Ciudad de New York el 26 de octubre de 1956[33].

Establece la vinculación de la Republica de Colombia al Organismo Internacional de Energía Atómica cuyo objetivo es tomar medidas para fortalecer la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear, radiológica y del transporte y de gestión de desechos radiactivos.

4.4.3.2. Ley 9 de 1979 (enero 24). El congreso de Colombia. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias[34].

Esta ley es de gran importancia para soportar la base de la salud ocupacional de los trabajadores debido a que en el presente trabajo, el estudio que se realizará en campo clínico contempla las prácticas médicas en las cuales intervienen los TOE's a radiaciones ionizantes.

4.4.3.3. Resolución 2400 de 1979. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Por el cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad de los establecimientos de trabajo[19].

El Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, establece en esta resolución, algunas disposiciones frente a la exposición a radiaciones ionizantes en los Artículos del 97 al 109.

4.4.3.4. Decreto 1295 de 1994. El Ministro de Gobierno de la República de Colombia. Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales[35].

El Ministerio de gobierno de la república de Colombia, establece en este decreto algunas disposiciones frente a Los riesgos profesionales, clasificación de empresas de alto riesgo, prevención de empresa de alto riesgo y supervisión de estas empresas.

4.4.3.5. Resolución 4445 de 1996. Ministerio de Salud. Por el cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos hospitalarios y similares[36].

El Ministerio de Salud, establece en esta resolución algunas disposiciones referentes a las condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos hospitalarios y similares, algunas especificaciones de atención para rayos X, ecografía, resonancia magnética y medicina nuclear.

4.4.3.6. Ley 657 de 2001. El Congreso de Colombia. Se establecen la especialidad médica de la radiología e imágenes diagnósticas[37].

El Congreso de Colombia, establece en esta ley, algunas disposiciones referentes a la reglamentación de la especialidad médica de la radiología.

4.4.3.7. Código sustantivo del trabajo. Ministerio de Protección social. Adoptado por el Decreto Ley 2663 del 5 de agosto de 1950 "Sobre Código Sustantivo del Trabajo", publicado en el Diario Oficial No 27.407 del 9 de septiembre de 1950[38].

El Ministerio de Protección Social, establece en este código, algunas disposiciones referentes a las vacaciones remuneradas y las enfermedades relacionadas a exposiciones a rayos X. Los profesionales y ayudantes que laboran en la aplicación de estas radiaciones, tienen derecho a gozar de quince (15) días de vacaciones remuneradas por cada seis (6) meses de servicios prestados.

4.4.3.8. Decreto 2090 de 2003. Ministerio de la Protección Social. Por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades[39].

El Ministerio de Protección Social, establece en este decreto, la actividad de alto riesgo para la salud del trabajador que se dedique en forma permanente a actividades de exposición a radiación ionizante, en la cual regula las pensiones especiales de vejez durante el número de semanas que corresponda y efectúen la cotización especial.

4.4.3.9. Resolución 18 1434 de diciembre 5 de 2002. Ministerio de Minas y Energía. Por la cual se adopta el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica[9].

Esta Resolución adopta el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica, el cual constituye el marco regulatorio fundamental para el uso seguro de materiales radiactivos y nucleares coherente con la legislación nacional e internacional[40].

La Resolución, establece los requisitos y condiciones mínimas que deben cumplir y observar las personas naturales o jurídicas interesadas en realizar o ejecutar prácticas que involucren el uso de materiales radiactivos y nucleares que causan exposición a las radiaciones ionizantes. La norma resume el esfuerzo de expertos del OIEA y de la Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP.

4.4.3.10. Resolución 18 1289 de 2004 (6 de octubre de 2004), Ministerio de Minas y Energía. Se establecen los requisitos para la obtención de licencia para la prestación del servicio de dosimetría personal[41].

El Ministerio de Minas y Energía, establece en esta resolución, los requisitos necesarios para la obtención de la Licencia para la Prestación del Servicio de Dosimetría Personal. El presente reglamento se aplica a las personas jurídicas, públicas o privadas, que realicen actividades relacionadas con la prestación del servicio de dosimetría personal.

4.4.3.11. Resolución 482 de 2018 (22 febrero de 2018). Ministerio de Salud y Protección Social. (Deroga la Resolución 9031 de 1990). Reglamenta el uso de equipos generadores de radiación ionizante, su control de calidad, la prestación de servicios de protección radiológica[11].

El Ministerio de Salud y Protección Social, establece que esta resolución tiene por objeto reglamentar tanto el uso de equipos generadores de radiación ionizante y su control de calidad en prácticas médicas, veterinarias, industriales o de investigación, a través del otorgamiento de licencias para el ejercicio de dichas prácticas, como la prestación de servicios de protección radiológica.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se mostrará cómo será alcanzado cada uno de los objetivos específicos anteriormente propuestos, por medio de las actividades planteadas. Se mencionan algunos procedimientos, técnicas, o estrategias requeridas para llevar a cabo éstos en la presente investigación.

El diseño metodológico del presente trabajo se basó en la revisión sistemática de tipo observacional y retrospectivo de un número de informes de investigación relevantes, que ayudaron a sintetizar resultados y conclusiones con el objetivo de resumir la información existente respecto al tema a tratar en el actual trabajo. La metodología se desarrolló cualitativa y cuantitativamente a través de los reportes dosimétricos que son entregados a la Clínica Los Rosales para la práctica clínica en el uso de rayos X.

5.1. TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio descriptivo, no experimental, transversal y con datos primarios. La investigación es de campo, por lo cual el estudio se realizó en los servicios de intervencionismo de la Clínica Los Rosales.

5.2. UNIDAD DE ANÁLISIS

Se analizaron los reportes dosimétricos de una población de 54 Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos, dicha muestra está formada por: 6 médicos neurocirujanos, 7 médicos ortopedistas y traumatólogos, 2 médicos cirujanos de mano, 2 médicos generales o ayudantes, 2 médicos gastroenterólogos, 9 médicos anestesiólogos, 12 instrumentadores quirúrgicos y 14 auxiliares de enfermería, quienes desempeñan sus respectivas funciones en las áreas de Quirófano.

5.3. SELECCIÓN DEL DISEÑO

Cuantitativo, ya que los datos obtenidos se convierten en número para ser sometidos a análisis estadísticos.

5.4. LUGAR

La investigación se llevó a cabo en la Unidad Funcional de Cirugía de la Clínica Los Rosales, Pereira. Ubicada en la dirección carrera 9 No. 25 – 25 en el centro de la ciudad. Se eligió la Clínica Los Rosales para realizar dicho estudio, debido a que es

mi lugar de residencia y donde me desarrollo laboralmente, lo que permitió tener acceso a la información sin ningún problema.

5.5. UNIVERSO

Lo constituye los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos a radiaciones ionizantes en el servicio de Cirugía de la Clínica Los Rosales, durante el periodo comprendido entre Julio 2017 y septiembre 2019.

5.6. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Estudio realizado en la unidad funcional de cirugía para evaluar los reportes de dosimetría personal y así crear la herramienta informática
- Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos que usen dosímetro personal.
- Consentimiento para participar en el estudio.

5.7. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos que usan dosímetro personal, pero son contratistas por casas comerciales externas a la Clínica.

5.8. VARIABLE

Para la realización del presente estudio se escogió como variable: la ponderación del uso del dosímetro personal.

5.9. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la realización del estudio y poder lograr los objetivos planteados, se utilizó como vía de recolección de datos los reportes de dosimetría entregados por los servicios de dosimetría para registrar la dosis efectiva mensual de los TOE's.

A continuación, se indica en una tabla el proceso a seguir en la recolección de la información y análisis de los datos que soportan los objetivos específicos, seguido de esta, se puede visualizar el cronograma de actividades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTOS
1. Revisar documentación, información técnica y legal relevante, referente a Protección Radiológica y dosimetría operacional de las radiaciones ionizantes.	1.1. Recopilar la información consultada sobre normatividad nacional e internacional.	Se recopila información de diferentes bases de datos, se presenta la normatividad legal que reglamentan el ámbito de las radiaciones ionizantes; se presentan una serie de publicaciones, guías técnicas y recomendaciones internacionales como también resoluciones, decretos y leyes nacionales que justifican y soportan el tema de protección radiológica y dosimetría de las radiaciones.
	1.2. Ordenar la información obtenida.	<p>Como primera instancia, se ordenó la información que referencia las recomendaciones internacionales que se tiene en cuenta frente al uso de radiaciones ionizantes, protección radiológica, dosimetría de las radiaciones y salud ocupacional para el personal expuesto y los pacientes.</p> <p>En segundo lugar, se ordenó la información que referencia la regulación y vigilancia de la protección y seguridad radiológica y la dosimetría clínica en Colombia, las cuales se basan en las recomendaciones y publicaciones internacionales. En este apartado se revisaron los requisitos relacionados con la exposición a radiaciones ionizantes por estos entes nacionales encargados.</p>
	1.3. Analizar y clasificar los documentos legales y técnicos recopilados que servirán de apoyo para la redacción del marco referencial.	<p>Para el desenlace de este objetivo, se utilizaron varias bases de datos, entre las cuales están: Scielo, Elsevier, libros científicos y artículos de divulgación científica en revistas indexadas.</p> <p>Se analizaron y clasificaron los documentos referentes a la parte legal y por otro lado los referentes a la parte técnica para la redacción del marco referencial.</p>

	<p>El marco histórico, presenta una amplia búsqueda literaria que aporta al desarrollo histórico de la protección radiológica y por consiguiente a la dosimetría de las radiaciones; con el fin de dar unas bases sólidas al primer objetivo de este trabajo, que obedece a la revisión de la documentación, información técnica y legal relevante, referente a Protección Radiológica y dosimetría operacional de las radiaciones ionizantes.</p> <p>El marco conceptual presenta los conceptos que justifican y soportan el tema de protección radiológica y dosimetría de las radiaciones. Se definen los principios físicos de la generación de los rayos X, conceptos fundamentales de protección radiológica operacional, algunas de las magnitudes y unidades dosimétricas utilizadas en la evaluación y estimación de las dosis.</p> <p>En el marco teórico se presentan los fundamentos teóricos básicos de la Protección Radiológica y la dosimetría personal que soportan los conceptos definidos en el marco conceptual. Se recurrieron a textos científicos, artículos científicos de revistas indexadas y libros de química, física moderna y mecánica cuántica. Se explica la teoría atómica, la estructura atómica, la radiactividad, la interacción de la radiación con la materia y aspectos fundamentales de la dosimetría personal.</p> <p>El marco legal presenta la normatividad legal que reglamentan el ámbito de las radiaciones ionizantes; se presentan una serie de publicaciones, guías técnicas y recomendaciones internacionales como también resoluciones, decretos y leyes nacionales</p>
--	--

1.4. Redactar el marco referencial

<p>2. Interpretar los reportes dosimétricos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) de la Clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira.</p>	<p>2.1. Conocer los principios fundamentales de dosimetría operacional.</p>	<p>Durante el curso de protección radiológica y dosimetría de las radiaciones se adquirieron conocimientos y principios básicos fundamentales de estas dos asignaturas. Se comprendieron unidades y magnitudes dosimétricas, recomendaciones para un Sistema de Protección Radiológica sobre el control de la exposición procedente de fuentes de radiación, factores de ponderación de la radiación y de tejido en las magnitudes dosis equivalente y dosis efectiva, daño producido por la radiación, se orienta a la adecuada aplicación de los principios fundamentales (justificación, optimización de la protección, y aplicación de límites de dosis) de las recomendaciones de protección radiológica.</p>
	<p>2.2. Conocer los requerimientos legales nacionales y las recomendaciones internacionales en cuanto a los límites de exposición a radiaciones ionizantes ocupacionales y del público.</p>	<p>Se realiza un estudio a fondo de la normatividad nacional y de las recomendaciones y guías técnicas internacionales.</p> <p>Las guías internacionales recomiendan la orientación y la práctica de las Normas Básicas de Seguridad en lo que respecta a las exposiciones médicas. Referencian las exposiciones para los empleados, asesores especializados y profesionales de la atención médica. Se mencionan los aspectos específicos de la Protección Radiológica relativos a la exposición medica en radiología con fines de diagnóstico y de intervención y la optimización de la protección relativa a la exposición médica teniendo en cuenta el equipo, los aspectos operacionales, la dosimetría clínica y la garantía de calidad.</p> <p>Al igual que se conocen orientaciones sobre el control de las exposiciones</p>

		normales y potenciales ocupacionales; las recomendaciones dadas en el proceso legal que se debe tener en un manual de protección radiológica. Estas recomendaciones y publicaciones demarcan una estructura completa de la protección y seguridad radiológica, las cuales son sistema para la protección radiológica ocupacional, limitación de dosis, optimización de la protección radiológica para las practicas, programas de protección radiológica, intervención en emergencias, y vigilancia de la salud.
	2.3. Aplicar los conocimientos adquiridos en el área de dosimetría operacional, en la adecuada gestión y lectura de los reportes dosimétricos de los TOE's de la Clínica Los Rosales.	Mediante la adquisición de los conocimientos obtenidos se empezará a aplicar estos en el área de la dosimetría clínica, para interpretar los reportes dosimétricos que son entregados mensualmente en la Clínica Los Rosales y así empezar a plantear el desarrollo de la herramienta informática.

3. Sistematizar el historial de los reportes dosimétricos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's) del servicio de radiodiagnóstico e Intervencionismo de la clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira.	3.1. Elaborar el historial dosimétrico de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE's).	Antes de empezar con el desarrollo de la herramienta informática y escoger la plataforma de software, es necesario recopilar todos los reportes dosimétricos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en la Clínica Los Rosales para así elaborar el historial o base de datos de todos los TOE's.
	3.2. Escoger plataforma, software o lenguaje de programación en la cual se desarrollará la herramienta informática.	Se realizará una tabla de ventajas y desventajas para escoger el software o lenguaje de programación con el que se desarrollará la herramienta informática. Por cuestiones de pago o compra de licencias y para efectos de viabilidad de la herramienta, se planteó escoger un software libre o en su defecto Microsoft Excel o Java que por lo general son herramientas con las que cuentan las entidades y no tienen problemas de licencias. Como la Clínica Los Rosales

		cuenta con licencia de Microsoft Excel, esta será el software elegido, además de esto, Excel proporciona a las empresas los recursos necesarios para la organización de datos de sus operaciones de negocio. Gracias a sus hojas de cálculo, la empresa puede observar y analizar su información, lo que es de gran ayuda para el departamento de recursos humanos para el caso particular de la Clínica.
	3.3. Diseñar la herramienta informática que permita realizar el control de la dosimetría de los TOE's.	La herramienta informática se desarrollará en base a los conceptos fundamentales y básicos de la dosimetría personal y a la interpretación de los reportes dosimétricos. Se establecerán en la herramienta campos como código institucional, apellidos, nombres, genero, ocupación, documento de identidad, fecha de ingreso al servicio, servicio en el que labora, ubicación del dosímetro, estimación de dosis del periodo (mensualmente para el caso de la Clínica), dosis acumulada (anual), y dosis acumulada total desde el ingreso al servicio. Además de esto la herramienta brindará alarmas de emergencia o advertencia para los límites de dosis que estén cercanos a los reglamentados en el país.
4. Socializar la herramienta informática a los directivos y al oficial de protección radiológica de la clínica Los Rosales de la ciudad de Pereira.	4.1. Explicar objetivos, alcances y conclusiones del proyecto.	El día 01 de octubre de 2018, se solicitó ante la gerencia y dirección administrativa y médica la aceptación del estudio del presente proyecto para que su realización sea en la Clínica Los Rosales, en esta reunión se establecieron los objetivos y alcances de la investigación. El proyecto debe tener clara la secuencia a seguir y los plazos de cumplimiento y revisión los cuales se encuentran en el cronograma de actividades. Sus indicadores deben ser cuantitativos y permitir que cada paso

		se exprese en cifras a fin de entender el avance de los objetivos. A su vez, es importante que cada integrante de la organización conozca su función en este proceso. Las conclusiones del trabajo se presentarán una vez la herramienta informática se encuentre ya ejecutada.
	4.2. Implementar en la institución la herramienta informática.	Una vez la herramienta informática se encuentre lista con todos sus campos completos y esté avalada por expertos en protección radiológica, esta será puesta en marcha en la Clínica para su respectiva evaluación.
	4.3. Capacitar al Oficial de Protección Radiológica (OPR), en el manejo de la herramienta informática.	Una vez se encuentre funcionando la herramienta informática, se presentará ante el OPR designado por la institución y se capacitará no solo en el uso de la herramienta sino en aspectos importantes y necesarios referentes a protección radiológica y dosimetría clínica.
	4.4. Evaluar con los entes directivos y administrativos los resultados del proyecto.	Se solicitará ante la gerencia, dirección administrativa, dirección médica, desarrollo humano y Salud y Seguridad en el Trabajo, una evaluación de la herramienta para dar a conocer la aceptación de esta y los resultados favorables que esta puede contribuir en la Institución.

Tabla 5. Metodología

Fuente: Esta investigación 2019.

6. CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES													
Actividad	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19
1.													
1.1.	✓	✓											
1.2.			✓										
1.3.				✓									
1.4.					✓	✓							
2.													
2.1.		✓	✓	✓									
2.2.				✓	✓	✓							
2.3.						✓	✓						
3.													
3.1.							✓	✓					
3.2.								✓					
3.3.								✓	✓	✓			
4.													
4.1.		✓									✓		
4.2.											✓	✓	
4.3.												✓	
4.4.													✓

Tabla 6. Cronograma.

Fuente: Esta investigación 201

7. FASE DE INVESTIGACIÓN

Como el presente proyecto se centra en el uso de rayos X, éste incorpora y se conforma de un trabajo multidisciplinar que implica una colaboración entre físicos y profesionales del ámbito médico. Se han estudiado los equipos generadores de radiación ionizante utilizados y se ha asistido a los diferentes procedimientos intervencionistas donde hacen uso de estos equipos, estudiando los aspectos médicos de los mismos y verificando el tiempo de exposición y número de disparos que realizan con los intensificadores de imagen durante cada procedimiento. Finalmente se han realizado unas estimaciones de las dosis recibidas por los TOE's en dichas intervenciones a través de los dosímetros termoluminiscentes, las estadísticas hacen referencia a un tiempo de estudio comprendido entre enero 2017 y mayo 2019.

La Clínica Los Rosales, IPS de tercer nivel, brinda atención de salud de alta complejidad en el departamento de Risaralda y norte del Valle del país. El área designada para Intervencionismo que alberga los equipos de radiología "Intensificadores de Imagen" se encuentra en el segundo piso en la unidad funcional Cirugía, conformada por 9 quirófanos, de los cuales 6 de estos se encuentran habilitados por la Secretaría de Salud de Risaralda para realizar los diferentes procedimientos quirúrgicos. De estos 6 quirófanos, los utilizados para intervencionismo son el quirófano 2 y 3.

Por tanto, el personal presente en esa zona, está bien definido y designado, a fin de disminuir los riesgos de irradiación al público. Teniendo en cuenta que los Rayos X no se producen constantemente, debido a que solo se producen durante ciertas intervenciones que ameritan el uso del equipo, por ende, el registro dosimétrico digital se enfocará a los TOE's designados para estos procedimientos, para así controlar las dosis del personal que está expuesto a la radiación.

Como se mencionaba anteriormente, en un gran número de intervenciones quirúrgicas que se realizan en la Clínica Los Rosales es necesario recurrir a la fluoroscopia o a la imagen con rayos X durante las mismas. Para estos casos o para aquellos en que se requiere simplemente fluoroscopia, están los arcos radioquirúrgicos móviles (típicamente intensificador de imagen y cámara CCD) como un arco en C, tal cual se mencionaba anteriormente en el marco conceptual ([4.2.11.1](#)), de esta manera puede colocarse al paciente entre el tubo y el intensificador y el acceso a la zona de exploración queda relativamente libre.

A continuación, se realiza una descripción de los equipos generadores de radiación ionizante, salas de cirugía, procedimientos intervencionistas, elementos de protección radiológica y la simulación de algunos de los procedimientos que se

realizan con mayor frecuencia en la Clínica Los Rosales, factores que presentaron mayor relevancia durante la investigación del actual trabajo:

7.1. DESCRIPCIÓN DE LOS QUIRÓFANOS

Según la resolución 2003 de 2014 del ministerio de Salud y Protección Social, la unidad funcional Cirugía de la Clínica Los Rosales está comprendida en el grupo “Quirúrgicos” en los siguientes servicios:

- Cirugía baja complejidad, definida como Servicio destinado a la realización de procedimientos e intervenciones quirúrgicas que requieren total asepsia, sala quirúrgica[42].
- Cirugía mediana y alta complejidad, definida como Servicio destinado a la realización de procedimientos e intervenciones quirúrgicas que requieren recurso médico especializado, estancia hospitalaria, en algunas ocasiones equipamiento específico y de tecnología de punta por procedimiento siempre en salas quirúrgicas[42].
- Cirugía ambulatoria, definida como Servicio destinado a la realización de procedimientos e intervenciones quirúrgicas ambulatorias que requieren total asepsia y se realizan en salas quirúrgicas, que pueden realizarse con anestesia local, regional, general o con sedación y que requieren cuidados postoperatorios específicos, pero no intensivos ni prolongados y que no requieren internación del paciente[42].

Según lo anterior, para algunos procedimientos, este servicio requiere la realización de intervenciones guiadas por fluoroscopia y con adquisición de imágenes permanentes, por lo cual los equipos generadores de radiación ionizante utilizados en sala de cirugía deben contar con licencia vigente de funcionamiento de equipos de rayos X de uso médico, ahora licencias de práctica médica expedida por la resolución 482 de 2018 del Ministerio de Salud y Protección Social.

Por consiguiente al hacer uso de equipos de radiología, según la resolución 2003 de 2014 del ministerio de Salud y Protección Social, la unidad funcional Cirugía de la Clínica Los Rosales también hace parte del grupo “Apoyo diagnóstico y complementación terapéutica” en el servicio de Radiología e imágenes diagnósticas mediana y alta complejidad, definida como: el servicio dedicado al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades mediante el uso de métodos diagnósticos, las imágenes y datos funcionales obtenidos por medio de radiaciones ionizantes o no ionizantes y otras fuentes de energía[42]. Los métodos diagnósticos incluyen:

- **Mediana Complejidad:** El uso de la radiación no ionizante como el ultrasonido, la resonancia magnética, radiaciones ionizantes como radiología convencional (portátil o fija), tomografía computarizada, mamografía, densitometría ósea, procedimientos fluoroscópicos, arco en C [42].
- **Alta Complejidad:** radiología intervencionista y medicina nuclear[42].

A continuación, se ilustran mediante imágenes y bocetos los quirófanos 2 y 3 respectivamente, donde se realizan los procedimientos e intervenciones que se nombrarán más adelante en el punto 7.3.

7.1.1. Sala de cirugía quirófano No. 2

Dicha sala tiene las siguientes dimensiones: 10 metros por 6.85 metros, en direcciones Sur - Norte y Occidente - Oriente, respectivamente. Las paredes de la sala de cirugía, sala de irradiación, están hechas en estructura pesada: 20 cm de espesor de concreto y 8 mm de espesor de placa DEKTON (Placa súper compacta).

El acceso a la sala de cirugía se hace a través de una puerta metálica (acero inoxidable), corrediza, con visor de vidrio de 40 cm de alto por 100 cm de ancho. Dicha puerta está localizada en la pared sur, extremo occidental de la sala. La apertura de la puerta de acceso se hace mediante el uso de sensor digital de movimiento desde el interior y el exterior de la sala. En el dintel de la puerta hay sensor de movimiento y tope para mantener abierta o reabrir, en el proceso de apertura o cerrado automático, como se puede observar en la ilustración 23.



Ilustración 22. Sala de cirugía No. 2.

Fuente: Esta Investigación 2019.

A continuación, se puede observar el boceto de la sala de cirugía No. 2, donde se detalla en el plano de la instalación los elementos más representativos como son el tubo de rayos X, la consola, el generador, la mesa de exploración, puertas y ventanas, entre otros.

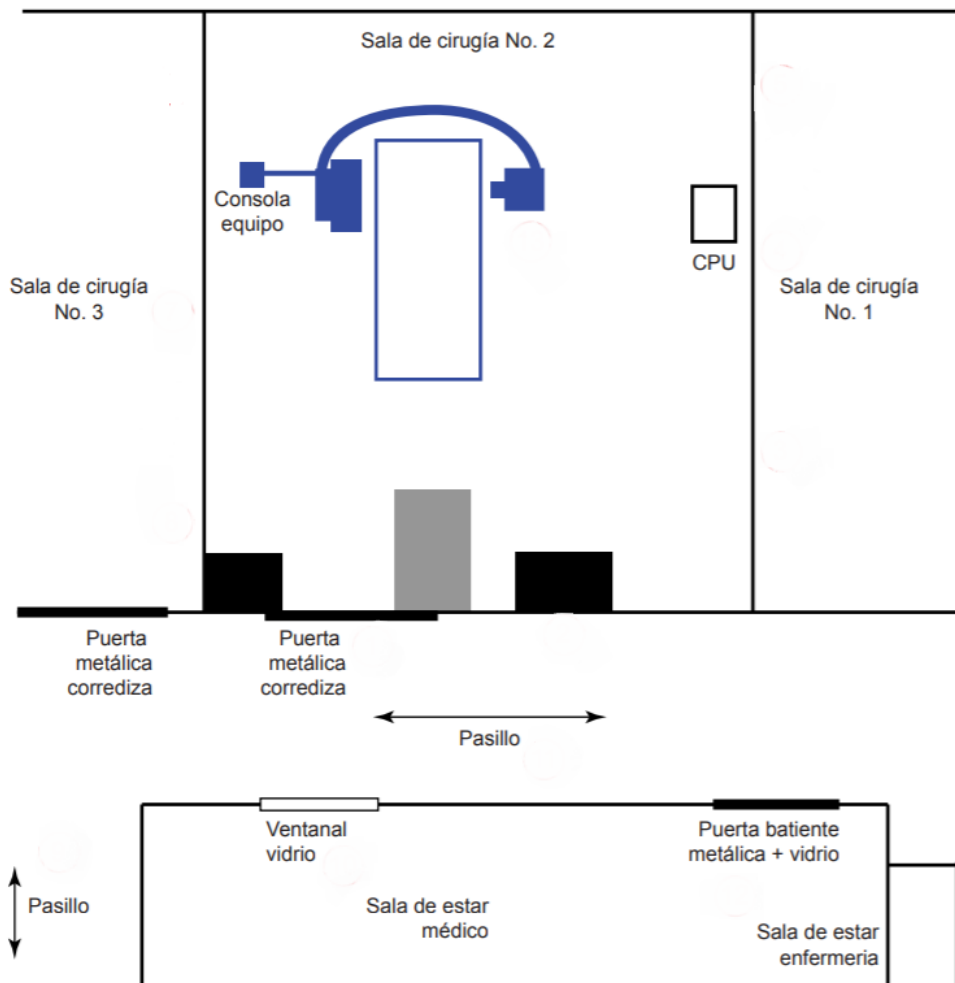


Ilustración 23. Boceto quirófano No. 2.

Fuente: Esta Investigación 2019.

7.1.2. Sala de cirugía quirófano No. 3

Dicha sala tiene las siguientes dimensiones de 7.50 metros por 6.0 metros, en direcciones Sur - Norte y Occidente - Oriente, respectivamente. Las paredes de la sala de cirugía, sala de irradiación, están hechas en estructura pesada: 20 cm de espesor de concreto y 8 mm de espesor de placa DEKTON (Placa súper compacta).

El acceso a la sala de cirugía se hace a través de una puerta metálica (acero inoxidable), corrediza, con visor de vidrio de 40 cm de alto por 100 cm de ancho al igual que la sala No. 2. La puerta está localizada en la pared sur, extremo oriental de la sala.

La apertura de la puerta de acceso se hace mediante el uso de sensor digital de movimiento desde el interior y el exterior de la sala. En el dintel de la puerta hay sensor de movimiento y tope para mantener abierta o reabrir, en el proceso de apertura o cerrado automático, como se puede observar en la ilustración 25.



Ilustración 24. Sala de cirugía No. 3.

Fuente: Esta Investigación 2019.

A continuación, se puede observar el boceto de la sala de cirugía No. 3: donde se detalla en el plano de la instalación los elementos más representativos como son el tubo de rayos X, la consola, el generador, la mesa de exploración, puertas y ventanas, entre otros.

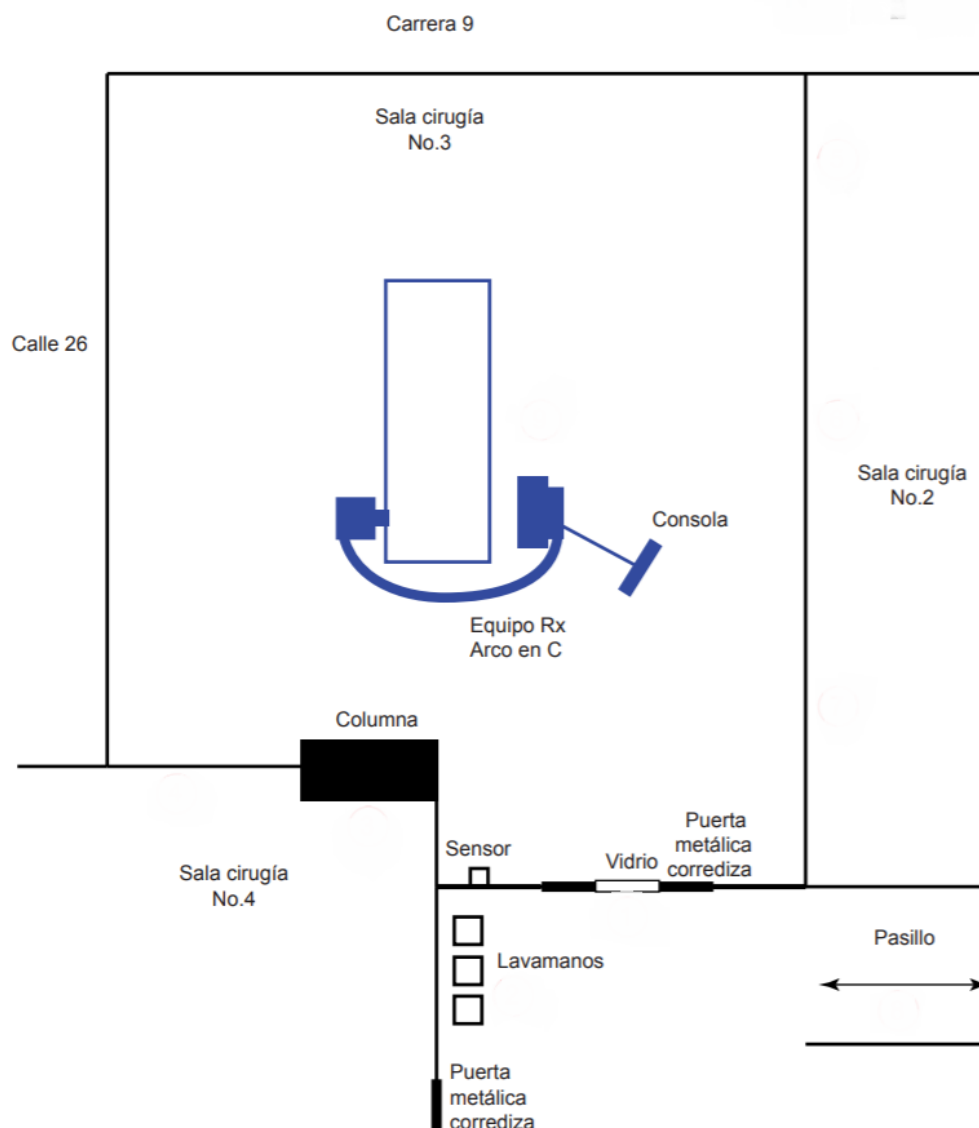


Ilustración 25. Boceto quirófano No. 3.

Fuente: Esta Investigación 2019.

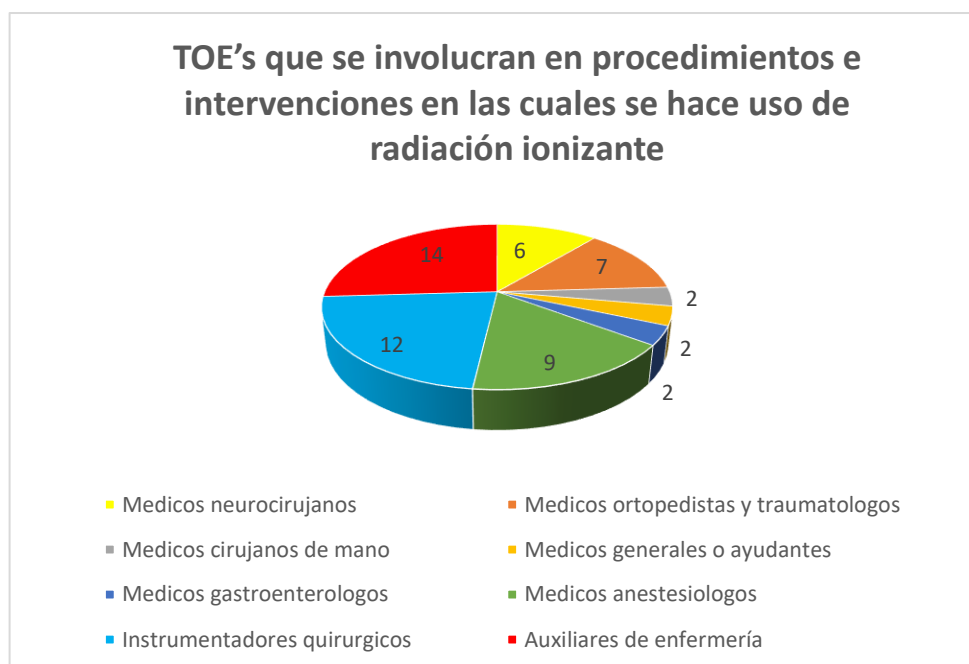
7.2. PERSONAL INVOLUCRADO EN PROCEDIMIENTOS E INTERVENCIONES EN LAS CUALES SE HACE USO DEL INTENSIFICADOR DE IMAGEN

En la siguiente tabla se puede evidenciar los TOE's que se involucran en procedimientos e intervenciones en las cuales se hace uso de radiación ionizante, esta tabla clasifica al personal según la profesión y cantidad, como se puede observar a continuación:

PROFESION	CANTIDAD
<i>Médicos neurocirujanos</i>	6
<i>Médicos ortopedistas y traumatólogos</i>	7
<i>Médicos cirujanos de mano</i>	2
<i>Médicos generales o ayudantes</i>	2
<i>Médicos gastroenterólogos</i>	2
<i>Médicos anestesiólogos</i>	9
<i>Instrumentadores quirúrgicos</i>	12
<i>Auxiliares de enfermería</i>	14

Tabla 7. TOE's involucrados en procedimientos e intervenciones en las cuales se hace uso de radiación ionizante.

Fuente: Esta investigación 2019.



7.3. PROCEDIMIENTOS E INTERVENCIONES QUIRÚRGICAS EN LOS CUALES SE HACE USO DE RADIACIÓN IONIZANTE

Entre los procedimientos habilitados por la Secretaría de Salud de Risaralda, en los cuales la Clínica Los Rosales tiene la disposición de realizar servicios con altos estándares de calidad haciendo uso de equipos generadores de radiación ionizante se encuentran:

- **Neurocirugía:** Cirugía cráneo, columna, artrodesis lumbar, artrodesis cervical, fusión intersomática lumbar anterior; ALIF (anterior lumbar interbody fusion), bloqueo de nervios, resección tumor cervical posterior, laminectomía, hemilaminectomía, discectomía lumbar.
- **Ortopedia General:** Osteosíntesis de fémur, osteosíntesis de humero, osteosíntesis de radio, osteosíntesis de tibia, reducción abierta, reducción cerrada.
- **Gastroenterología:** Colangiopancreatografía retrógrada endoscópica.
- **Cirugía de mano:** Osteosíntesis de mano, osteosíntesis de falanges.

7.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS GENERADORES DE RADIACIÓN IONIZANTE, INTENSIFICADORES DE IMAGEN

Los intensificadores de imagen de los cuales se ha referenciado en capítulos anteriores, llevan incorporado un sistema de Control Automático de Intensidad de manera que el operador del equipo, generalmente los auxiliares de enfermería de la Clínica Los Rosales, personal de nómina, solamente deben seleccionar el tipo de intervención que se va a realizar y el sistema de control selecciona automáticamente la curva de voltaje e intensidad que mejor se ajusta a ella. Según las características de cada paciente y a la vista de cómo sea la absorción el sistema, dentro de la curva elegida, determina los valores de kilovoltaje y amperaje para así obtener una imagen óptima, así lo determina el manual de fabricante de las dos marcas diferentes de intensificadores que se encuentran en la clínica.

La visualización y adquisición de imágenes dinámicas en tiempo real, en el caso de la toma consecutiva de imágenes que se visualizan en los monitores, se utiliza la fluoroscopia pulsada en la que se toman un número definido de imágenes por segundo dependiendo de la marca y modelo del equipo.

El modo pulsado sirve para reducir la dosis al paciente. De otro modo la fluoroscopia continua permite al especialista observar cambios dinámicos en el paciente en el transcurso de la intervención quirúrgica. Además, se puede visualizar en tiempo real.

En este último caso ocurre lo contrario que en el primero. El tiempo de exposición del paciente a esta radiación será elevado, ya que será necesario prácticamente en todo momento durante la intervención generar radiación. Esto implica que los amperajes no pueden ser tan elevados para así reducir la dosis, lo que lleva asociado que la calidad de la imagen no sea de muy buena calidad.

A continuación, se describen las características técnicas de los intensificadores de imagen de la Clínica Los Rosales:

7.4.1. Intensificador de imagen General Electric

- **Marca:** GENERAL ELECTRIC
- **Modelo:** BRIVO OEC 785 ESSENTIAL
- **Serial No:** B3S15054
- **Fecha y lugar de fabricación:** febrero de 2015 en BEIJING 100176, CHINA por GE HUALUN MEDICAL SYSTEMS CO. Ltd.
- **kV. máx.:** 110
- **mAs máx.:** 160

Generador de rayos X:

- **Marca:** GENERAL ELECTRIC
- **Modelo:** BRIVO OEC 2.2 A.
- **Número de pieza:** 5085004.
- **Serial No:** 122666 HL1.
- **Fecha de fabricación:** mayo de 2014.

Tubo de rayos X:

- **Marca:** GENERAL ELECTRIC
- **Diseño:** ánodo fijo de Tungsteno de 10° de ángulo.
- **Fabricante del tubo:** LOHMANN.
- **Modelo del tubo:** 110/3 DF.
- **Punto focal pequeño:** de 0.6 mm x 1.4 mm. para fluoroscopia normal, HLF.
- **Punto focal grande:** de 1.4 mm x 1.4 mm. para radiografía.

Dispositivo de limitación del haz:

- **Número de modelo:** 5417680
- **Número de serie:** 122665HL3
- **Fecha de fabricación:** febrero de 2015. HUALUN MEDICAL SYSTEMS CO. Ltd.

Intensificador de imagen:

- **No. De pieza:** 5075001
- **Modelo de pieza:** 23XZ4ST/BS
- **Serial No.:** 122664HL6

- **Fecha de fabricación:** febrero de 2015. GE HUALUN MEDICAL SYSTEMS CO. Ltd.

Con opción de laborar en condiciones de:

- Fluoroscopia normal pulsada de 1,2,4 y 8 pulsos por segundo. Imágenes de dosis bajas.
- Fluoroscopia normal o Fluoroscopia continua. Imágenes de Fluoroscopia generales.
- Fluoroscopia de alto nivel (HLF): Imágenes de alta calidad y dosis alta.
- Radiografía (punto digital): Adquisición de una imagen de corta duración, mili amperaje elevado y alta calidad.

El equipo adicionalmente cuenta con:

- Doble monitor, con grabación de última imagen.
- Cámara CCD para adquisición de imágenes digitales.
- Una impresora térmica marca SONY para impresión de imágenes en papel.
- Un quemador de CD.
- Salida por CD y USB.
- Equipo que cuenta con localización puntual en paciente, del eje central de rayos X, con rayos LASER.

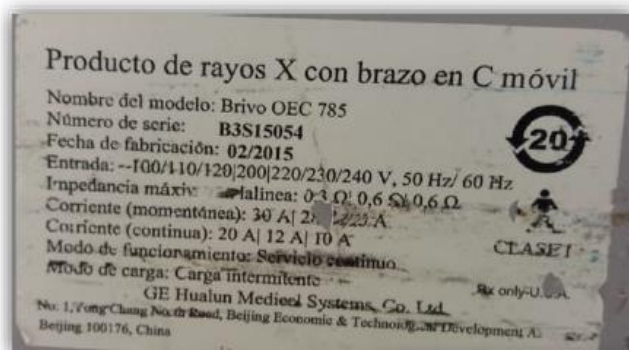
Parámetros de utilización:

- En condiciones de Fluoroscopia: 40 KV a 110 KV y 0.1 mA. a 6.0 mA.
- En condiciones de radiografía simple: 40 KV a 110 KV y 0 mAs. a 160 mAs.



Ilustración 26. Intensificador de imagen General Electric.

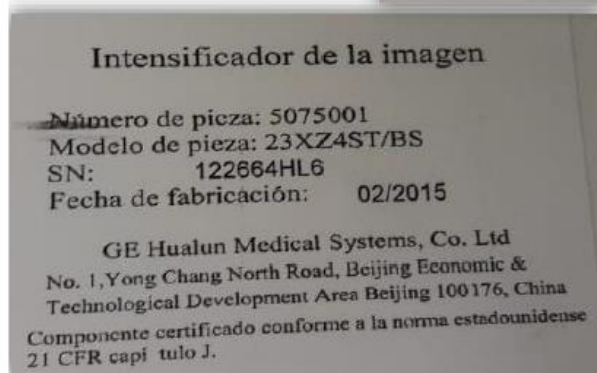
Fuente: <https://www.medwrench.com/equipment/8099/ge-healthcare-brivo-oec-850>.



Etiqueta de equipo



Etiqueta de tubo / generador



Etiqueta de IIR

Ilustración 27. Improntas del equipo General Electric.

Fuente: Esta investigación 2019.

7.4.2. Intensificador de imagen Siemens

- **Marca:** SIEMENS
- **Modelo:** ARCADIS VARIC
- **Serial No:** 13430
- **Fecha y lugar de fabricación:** Alemania, noviembre de 2011
- **kV. máx.:** 110
- **mAs máx.:** 15.2

Tubo de rayos X:

- **Marca:** carcasa SIREPHOS
- **Diseño:** ánodo fijo de 9° de ángulo.
- **Modelo del tubo:** 1173355
- **Serial No:**13683
- **Punto focal:** de 0.6 mm x 0.6 mm.

Arco en C:

- **Desplazamiento orbital del arco en C:** 130° (de - 40° a + 90°).
- **Angulación del arco en C:** +- 190°
- **Desplazamiento horizontal del arco en C:** 20 cm.
- **Profundidad de penetración del Arco en C:** 73 cm.
- **Zona de basculación del arco en C:** +- 12,5°.
- **Desplazamiento vertical del arco en C:** 45 cm. a motor.
- **Distancia fuente al intensificador de imagen:** 100 cm.

Intensificador de imagen:

- **Marca:** SIEMENS
- **Modelo:** SIRECON 23-2HDR-C
- **Modelo de pieza:** 07721710
- **Serial No.:** 7499
- **Fecha de fabricación:** Alemania, Múnich, en noviembre de 2011.

Sistema colimador:

Diafragma circular para la colimación concéntrica y diafragma de ranura semitransparente para la colimación con rotación ilimitada. Diafragma electrónico de campo para chasis radiográfico.

Cadena de imagen:

- Cámara con sensor CCD de 1024 (H) x 1024 (V).
- Dos monitores: Modelo No. 08683984, serial No. HXBO008104, hechos en Alemania.
- Pantallas en color TFT resolución 1280 x 1024 (píxeles). Diagonal de imagen 48 cm (19")

El equipo tiene como dispositivo adicional: Un TIMER, en el sistema de comando digital, que indica el tiempo real de exposición radiactiva (tiempo neto de Fluoroscopia), durante todo el procedimiento realizado. El Timer del equipo está

programado para Fluoroscopia con $t = 4.5$ minutos, antes de que aparezca la señal de alarma.

Con opción de laborar en condiciones de:

- Fluoroscopia normal pulsada de 8 o 15 pulsos por segundo. Imágenes de dosis bajas.
- Fluoroscopia normal o Fluoroscopia continua. Imágenes de Fluoroscopia generales.
- Radiografía (punto digital): Adquisición de una imagen de corta duración, mili amperaje elevado y alta calidad.

Parámetros de utilización:

- En condiciones de Fluoroscopia: 40 KV a 110 KV y 0.2 mA. a 15.2 mA.
- En condiciones de radiografía simple: 40 KV a 110 KV y 0.2 mAs. a 23 mAs.



Ilustración 28. Intensificador de imagen Siemens.

Fuente: <https://www.somatechnology.com/spanish/equipo-medico-usado-remanufacturado/imagenologia-radiologia/arcos-en-c/siemens-arcadis-varic/>.

El Equipo de rayos X tipo Arco en C de uso en quirófano para procedimientos de neurocirugía y columna principalmente en proyecciones antero-posterior (AP) y lateral (LAT). El equipo permite operar en modo automático y en modo normal seleccionando el kV y mA de manera acoplada, no cuenta con modo semiautomático de operación.



Etiqueta de equipo

Etiqueta de tubo de RX



Etiqueta de IIR

Ilustración 29. Improntas del equipo Siemens.

Fuente: Esta investigación 2019.

7.5. ELEMENTOS PERSONALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Son utilizados por los TOE's cada vez que se haga uso de uno de los intensificadores de imagen en cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados. Hay que tener en cuenta que, en muchas ocasiones el solo uso del delantal plomado no significa la no exposición a las radiaciones, por lo que hay que tener presente el cumplimiento de otras medidas de protección operacional. Estos elementos de protección personal deben cuidarse y protegerse de manera adecuada para mantener su efectividad y prolongar su vida útil.

La clínica Los Rosales cuenta con los siguientes elementos de protección personal:

- 10 delantales plomados, ocho son marca MAVIG de fabricación alemana, de 0.5 mm de filtración equivalente en plomo, región frontal y 0.25 en la espalda y dos son marca REPCAROL, con indicación de 5 mm de filtración equivalente en plomo.
- 9 protectores de tiroides de 0.5 mm de filtración equivalente en plomo.
- 4 conjuntos falda chaleco
- 4 gafas plomadas

A continuación, en la ilustración 30. se puede observar los elementos personales de protección radiológica de la clínica Los Rosales mencionados en el párrafo anterior y en las ilustraciones 31. y 32. se puede observar el uso de estos elementos en procedimientos e intervenciones quirúrgicas:



Ilustración 30. Elementos de protección personal.

Fuente: Esta investigación 2019.



Ilustración 31. Elementos de protección personal en un procedimiento de columna.

Fuente: Esta investigación 2019.



Ilustración 32. Elementos de protección personal en un procedimiento de cráneo.

Fuente: Esta investigación 2019.

7.6. DESCRIPCIÓN DEL USO DE LOS INTENSIFICADORES DE IMAGEN EN LAS INTERVENCIONES QUIRÚRGICAS; TIEMPOS DE EXPOSICIÓN Y NÚMERO DE DISPAROS CONTINUOS.

En este apartado se describen en una tabla, las intervenciones presenciadas comentando las técnicas de imagen con rayos X empleadas en cada caso.

De manera previa a la realización de las intervenciones, los pacientes han sido sometido a estudios de tomografía computarizada o resonancia magnética nuclear

para el caso de neurocirugía y radiografía convencional para el caso de ortopedia y cirugía de mano.

Se utiliza el intensificador de imagen digital con parámetros prefijados, de manera automática en condición de fluoroscopia continua para todas las intervenciones, el cual permite ver en todo momento dónde se encuentran los materiales de instrumentación quirúrgica y la estructura ósea. Son los auxiliares de enfermería circulantes quienes manejan en todo momento estos equipos y siguiendo las ordenes de los especialistas quienes deciden en qué momentos utilizar los rayos X, para intentar reducir al mínimo la dosis al paciente, ya que la intervención puede ser de considerable duración.

Gracias al brazo en forma de arco en C de los intensificadores que se puede guiar el instrumental en diferentes direcciones, hubo momentos en que fue necesario mover el arco en C para obtener una proyección del paciente diferente.

Los valores que se utilizan en este tipo de intervenciones están normalmente alrededor entre 74 kV y 82 kV, seleccionados por el control automático de intensidad de los intensificadores. Se trata de un nivel de fluoroscopia baja, es decir las imágenes tienen una calidad inferior, pero se reduce considerablemente la dosis empleada.

Como los intensificadores de imagen no se utilizan constantemente en las salas de cirugía, ellos permanecen almacenados en el quirófano 9, sala que actualmente se utiliza como cuarto de equipos. Cuando un procedimiento requiere de alguno de ellos, estos se desplazan hasta la sala de cirugía 2 o 3.

Aproximadamente según el formato de la clínica Los Rosales con nombre INTENSIFICADOR DE IMAGEN, codificado con código: REG-CX-54 versión 1 con última actualización 04/07/2018, en el cual se escriben todos los procedimientos que se realizan con los intensificadores, se estima que estos equipos tienen un uso promedio por semana de:

<i>Equipo</i>	<i>Procedimientos semanales</i>
<i>Intensificador de imagen General Electric</i>	20
<i>Intensificador de imagen Siemens</i>	25
<i>Total</i>	45

Tabla 8. Procedimientos semanales en los que se utilizan los intensificadores de imagen.

Fuente: Esta investigación 2019.


		INTENSIFICADOR DE IMÁGENES			CÓDIGO: REG-CX-54
					PÁGINA: 1 de 1
					VERSIÓN: 1
					ACTUALIZACIÓN: 04/07/2018
FECHA	HORA	PACIENTE	PROCEDIMIENTO / EQUIPO	NOMBRE DEL PERSONAL QUE INGRESA AL PROCEDIMIENTO	IDENTIFICACIÓN PACIENTE

Ilustración 33. Registro uso del intensificador de imagen REG-CX-54.

Fuente: Formatos Clínica Los Rosales.

Se ingresó a las salas de cirugía, especialmente a los quirófanos 2 y 3 y se presenciaron diferentes procedimientos quirúrgicos (uno diario sin contar domingos), para medir tiempo de exposición y el número de disparos que realizan en estos procedimientos.

Los intensificadores de imagen anteriormente descritos, muestran en pantalla el tiempo total de fluoroscopia en decimas de minutos y cantidad de disparos que se realizan por procedimiento, aunque estos datos no son utilizados por la clínica, fueron de gran utilidad para este estudio, debido a que no fue necesario recurrir a la toma de tiempo cronometrado y la contabilidad de disparos, previniendo así errores humanos. Normalmente, en cada procedimiento se utilizó fluoroscopia continua con tiempo de exposición de aproximadamente 4,12 segundos (presente estudio) por cada pulsación o disparo, teniendo en cuenta que este dato no se especifica en el equipo, por lo cual pudieron existir tiempos mayores a 4 segundos de exposición, como también menores. Con el tiempo total de fluoroscopia indicado en el equipo y la cantidad de disparos se realiza un promedio estadístico para determinar este valor, como que se muestran en la siguiente tabla:

Ítem	Fecha	Procedimiento	Hora Inicial	Hora Final	Duración de la intervención (minutos)	Disparos	Tiempo de fluoroscopia (segundos)	Tiempo promedio Fluoroscopia por disparo (segundos)
1	2/01/2019	Reducción cerrada	16:00	16:40	40	5	20	4,00
2	3/01/2019	Osteosíntesis Falange	17:00	18:12	72	15	60	4,00
3	4/01/2019	CPRE	8:45	9:59	74	12	60	5,00
4	5/01/2019	CPRE	9:30	10:40	70	14	60	4,29
5	7/01/2019	Bloqueo	14:15	14:40	25	3	10	3,33
6	8/01/2019	Bloqueo	14:40	15:10	30	4	10	2,50
7	9/01/2019	Bloqueo	15:10	15:50	40	6	20	3,33
8	10/01/2019	Bloqueo	15:50	16:15	25	3	10	3,33
9	11/01/2019	Bloqueo	16:15	16:50	35	5	20	4,00
10	12/01/2019	Bloqueo	16:50	17:20	30	3	10	3,33
11	14/01/2019	Retiro material Osteosíntesis	8:50	10:50	120	25	100	4,00
12	15/01/2019	Bloqueo	10:00	10:27	27	5	20	4,00
13	16/01/2019	Disectomia Lumbar	13:30	15:25	115	19	80	4,21
14	17/01/2019	Disectomia Lumbar	18:00	19:40	100	20	80	4,00
15	18/01/2019	Bloqueo	18:00	18:30	30	7	30	4,29
16	19/01/2019	Bloqueo	18:00	18:35	35	6	20	3,33
17	21/01/2019	CPRE	11:30	12:30	60	7	30	4,29
18	22/01/2019	CPRE	12:40	13:50	70	6	30	5,00
19	23/01/2019	Osteosíntesis Fémur	16:00	18:15	135	19	90	4,74
20	24/01/2019	Osteosíntesis Húmero	13:15	14:35	80	15	70	4,67
21	25/01/2019	Columna	7:00	11:00	240	31	120	3,87
22	26/01/2019	Osteosíntesis Tibia	11:00	12:10	70	14	60	4,29

23	28/01/2019	Osteosíntesis Húmero	19:00	20:25	85	17	60	3,53
24	29/01/2019	Osteosíntesis Fémur	10:00	11:50	110	15	90	6,00
25	30/01/2019	CPRE	8:20	9:00	40	8	30	3,75
26	31/01/2019	CPRE	9:00	9:45	45	6	20	3,33
27	1/02/2019	CPRE	9:00	10:00	60	10	40	4,00
28	2/02/2019	CPRE	10:30	11:20	50	7	20	2,86
29	4/02/2019	CPRE	11:00	12:10	70	9	50	5,56
30	5/02/2019	Artrodesis Lumbar	14:00	17:25	205	19	100	5,26
31	6/02/2019	Osteosíntesis Radio	14:35	15:55	90	13	40	3,08
32	7/02/2019	Osteosíntesis Tibia	14:00	15:20	80	19	80	4,21
33	8/02/2019	ALIF	17:00	19:30	150	17	100	5,88
34	9/02/2019	Osteosíntesis Tibia	13:00	14:15	75	13	60	4,62
35	11/02/2019	Osteosíntesis Húmero	8:00	9:45	105	18	70	3,89
36	12/02/2019	Osteosíntesis mano	16:10	18:00	110	21	120	5,71
37	13/02/2019	Columna	17:00	20:00	180	28	150	5,36
38	14/02/2019	Columna	13:30	17:00	210	25	100	4,00
39	15/02/2019	ALIF	17:00	19:00	120	19	70	3,68
40	16/02/2019	CPRE	8:00	9:00	60	10	40	4,00
41	18/02/2019	CPRE	9:00	10:10	70	7	20	2,86
42	19/02/2019	CPRE	10:00	11:05	65	9	30	3,33
43	20/02/2019	Osteosíntesis Fémur	8:00	9:40	110	21	80	3,81
44	21/02/2019	Osteosíntesis Falange	13:00	14:20	80	16	60	3,75
45	22/02/2019	ALIF	9:00	11:15	135	23	90	3,91
46	23/02/2019	Osteosíntesis Húmero	10:00	11:45	105	19	70	3,68
47	25/02/2019	Bloqueo	14:15	14:40	25	3	10	3,33
48	26/02/2019	Bloqueo	14:40	15:10	30	4	20	5,00
49	27/02/2019	Bloqueo	15:10	15:50	40	6	20	3,33

50	28/02/2019	Bloqueo	15:50	16:15	25	5	20	4,00
51	1/03/2019	Osteosíntesis mano	13:00	14:35	95	19	80	4,21
52	2/03/2019	CPRE	8:30	9:40	70	7	20	2,86
53	4/03/2019	CPRE	10:30	11:45	75	11	40	3,64
54	5/03/2019	ALIF	12:00	14:50	170	31	130	4,19
55	6/03/2019	ALIF	15:00	17:25	145	26	100	3,85
56	7/03/2019	Reducción abierta mano	16:00	17:20	80	11	50	4,55
57	8/03/2019	Osteosíntesis mano	14:30	16:00	90	17	80	4,71
58	9/03/2019	Recesión Tumorcervical	15:00	18:30	210	26	120	4,62
59	11/03/2019	ALIF	10:00	12:40	180	28	110	3,93
60	12/03/2019	Laminectomía	11:50	14:45	175	23	90	3,91
61	13/03/2019	Osteosíntesis mano	14:00	14:30	90	18	80	4,44
62	14/03/2019	Osteosíntesis mano	16:30	18:00	90	17	90	5,29
63	15/03/2019	Osteosíntesis Tibia	13:00	14:20	80	14	50	3,57
64	16/03/2019	Osteosíntesis Radio	19:00	20:45	105	16	70	4,38
65	18/03/2019	Laminectomía	11:30	14:40	190	25	90	3,60
66	19/03/2019	Laminectomía	15:30	17:40	130	21	90	4,29
67	20/03/2019	Artrodesis Lumbar	14:00	17:00	180	24	100	4,17
68	21/03/2019	Artrodesis Cervical	17:00	19:30	150	21	110	5,24
69	22/03/2019	Osteosíntesis Fémur	8:00	9:55	125	17	80	4,71
70	23/03/2019	Osteosíntesis Radio	15:00	17:00	120	16	80	5,00
71	25/03/2019	Columna	7:00	11:15	255	29	120	4,14

Tabla 9. tiempos de exposición y número de disparos continuos por procedimiento asistido.

Fuente: Esta investigación 2019.

7.7. SIMULACIÓN GRÁFICA DE PROCEDIMIENTOS E INTERVENCIONES REALIZADOS EN LAS SALAS DE CIRUGÍA

En esta sección, después de recolectar toda la información requerida para conocer algunos de los procedimientos realizados en la Clínica Los Rosales, se presenta mediante representación gráfica, la simulación de dos intervenciones específicas que se presentan a continuación:

7.7.1. Procedimiento de neurocirugía simulado: Artrodesis torácica

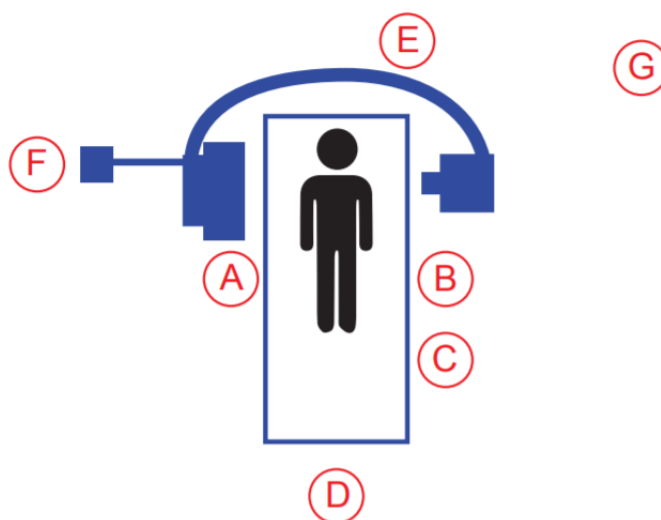


Ilustración 34. Boceto simulación Neurocirugía.

Fuente: Esta Investigación 2019.

Utilizando el equipo de rayos X, con haz radiactivo horizontal: condición crítica (tubo de rayos X ubicado al oriente del paciente e intensificador al occidente del mismo), parámetros prefijados, de manera automática en condición de fluoroscopia continua: 82 kV. y 2.2 mA, parámetros que normalmente corresponderían a paciente de gran contextura física.

Las letras en mayúscula hacen referencia a:

A: Posición médico neurocirujano, situado al occidente del paciente, a 50 cm. del eje del tubo de rayos X e Intensificador de imagen.

B: Posición de médico ayudante situado al oriente del paciente, frente al médico Neurocirujano, a 60 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

C: Posición de la instrumentadora quirúrgica de la Clínica, protegida en parte por el médico ayudante, situada al oriente del paciente y al sur del médico ayudante, a 90 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

D: Posición de la instrumentadora quirúrgica de casas comerciales, situada al sur del paciente, a 120 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

E: Posición del médico anestesiólogo situado al norte del paciente (cerca de la cabeza) a 130 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

F: Posición de la circulante, (auxiliar de sala), operaria del equipo de rayos x. Situada al occidente del paciente, protegida por el equipo mismo, a 180 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

G: Posición de la circulante, (auxiliar de sala). Situada al oriente del paciente, a 310 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

7.7.2. Procedimiento de ortopedia simulado: Osteosíntesis de fémur.

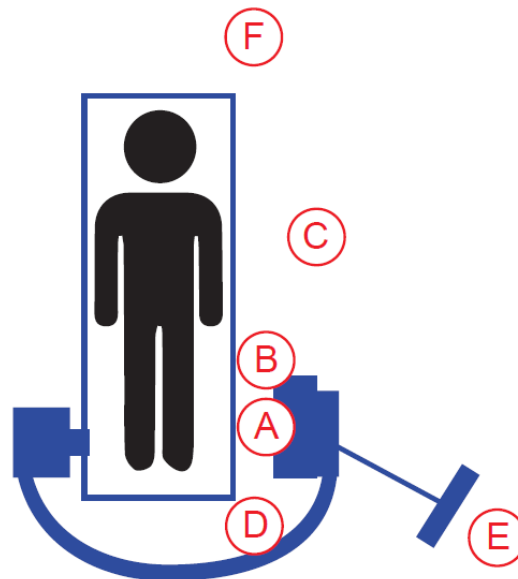


Ilustración 35. Boceto simulación Ortopedia.

Fuente: Esta Investigación 2019.

Utilizando el equipo de rayos x, con haz radiactivo vertical (tubo rayos X arriba e intensificador abajo), parámetros prefijados, de manera automática en condición de

fluoroscopia continua: 74 kV. y 1.7 Ma, parámetros que corresponden a un paciente de textura física promedio.

Las letras en mayúscula hacen referencia a:

A: Posición médico ortopedista, situado al oriente del paciente, a 40 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

B: Posición de médico ayudante situado al oriente del paciente, al norte del médico ortopedista, a 60 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

C: Posición de la Instrumentadora de la Clínica, protegida en parte por los dos médicos anteriores analizados, situada al oriente del paciente y al nororiente del médico ayudante, a 190 cm del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

D: Posición de la instrumentadora de la Casa ortopédica, situada al sur del médico ortopedista y del paciente, a 80 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

E: Posición de la circulante, (Auxiliar de sala), operaria del equipo de rayos X. Situada al suroriente del paciente, protegida por el equipo mismo, a 200 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

F: Posición del anestesiólogo situado al norte del paciente (cerca de la cabeza) a 260 cm. del eje del tubo de rayos X e intensificador de imagen.

Todo el personal presente en la sala de cirugía tiene como medio de protección, un delantal plomado y protector de tiroides de 0.5 mm de filtración equivalente en plomo, los cuales atenúan en un 98% la radiación dispersa. Hay delantales plomados específicos, para ser usados en sala de cirugía como los chalecos que cubren tórax y espalda y “faldas” que cubren adelante y atrás, permitiendo, además, repartir el peso entre las dos piezas.

Como medio de control y vigilancia, para los TOE's, se cuenta con el uso de dosimetría personal, mediante el dosímetro TLD (termoluminiscente), contratado con la empresa Sievert S.A.S, quien realiza la lectura mensual de estos dosímetros, además de esto se cuenta con un dosímetro de área en cada sala.

8. FASE DE DISEÑO Y DESARROLLO

8.1. INTERPRETACIÓN DE LOS REPORTES DOSIMÉTRICOS

En cuanto a los trabajadores ocupacionalmente expuestos, el uso obligatorio de los dosímetros personales, hacen que estos permitan controlar de cierta forma, que las dosis recibidas sean inferiores a los límites legales recomendados. La legislación nacional hace que sea obligatorio registrar todas las dosis recibidas durante la vida laboral de los TOE's, en un historial dosimétrico individual [9] que estará, en todo momento, a disposición del propio trabajador, debiendo proporcionarle una copia cuando cese su actividad laboral en dicha instalación.

Los trabajadores ocupacionalmente expuestos que laboren en más de una instalación están obligados a dar cuenta expresa de tal circunstancia al responsable de cada uno de los centros en que laboren, con el objetivo de que en todos ellos conste actualizado y completo, su historial dosimétrico individual. A tal fin, el trabajador deberá comunicar en cada actividad los resultados dosimétricos que le proporcionen en las demás.

8.1.1. Información contenida en un reporte dosimétrico

Se registrarán datos como[43]:

- Código, usualmente los servicios de dosimetría asignan un código al dosímetro de cada usuario.
- Datos que permiten identificar sin ambigüedad al usuario, tales como Apellidos, Nombres, Género (M=Masculino, F=Femenino).
- Documento de Identidad.
- Fecha de Ingreso al Servicio.
- Ocupación del trabajador.
- Ubicación del dosímetro: Puede estar asociada con la parte del cuerpo que está bajo monitoreo con el dosímetro; por ejemplo, el cuerpo, anillo, brazalete, ojos, torso, espalda, etc.
- Energía o calidad de radiación: el servicio podría informar de manera cualitativa o cuantitativa la energía estimada en el proceso de lectura del dosímetro: Radiación Alfa, Beta, Gamma, Neutrones, o la energía en keV o MeV.

8.1.2. Nomenclatura

A continuación se explica la nomenclatura con la cual hace referencia a que una dosis de cierto periodo no pudo registrarse por diferentes motivos[43]:

- **ND:** No Detectable
- **NP:** No Presentado
- **DNL:** Dosímetro No Legible
- **DCNE:** Dosímetro Control No Evaluable

Una dosis reportada como ND, significa que la lectura está entre cero y el nivel mínimo de detección (10 μ Sv)

Hp(d), es la dosis equivalente personal a la profundidad indicada en milímetros. Así: Hp(10) estima la dosis en tejido profundo, Hp(0.07) estima la dosis en tejido superficial y Hp(3) estima la dosis al cristalino. Cabe resaltar que para el presente trabajo no se tendrá en cuenta el registro de Hp (0.07) ya que su aplicación se encuentra en prácticas donde el usuario manipula los materiales radiactivos, en la Clínica Los Rosales S.A. no existe tal manipulación.

8.1.3. Dosis Reportadas

En el historial dosimétrico se registrarán como mínimo las dosis mensuales y las dosis acumuladas durante un año oficial, periodo de doce meses, que cuenta desde el día 1 de enero hasta el 31 de diciembre, incluyéndolos[43]. Así mismo, se pueden registrar las dosis en un periodo bimestral (6 lecturas en un año oficial) o trimestral (4 lecturas al año).

La dosis del periodo, corresponde a las estimaciones de dosis profunda para el periodo de uso del dosímetro. La dosis acumulada de los 12 meses anteriores, registrará la dosis total recibida durante un año calendario, contando como último día, el registrado como último día del periodo. Esta cifra agrega valor al informe en la medida en que las dosis significativas se verán reflejadas por más tiempo en los informes.

La dosis acumulada desde el ingreso al servicio, es útil en el historial dosimétrico del trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE) ya que ayuda a evaluar su exposición cuando labora en más de una institución. Además de que es un excelente insumo desde el punto de vista de Seguridad y Salud en el Trabajo, en la

medida que permite conocer con exactitud la dosis efectiva que ha recibido una persona a lo largo de su vida laboral

8.1.4. Vigilancia y datos de interés

Si la periodicidad de lectura del dosímetro es mensual, por ejemplo, toda dosis que supere el valor de 1.67 mSv/mes debe ser investigada y documentada al interior de la instalación. Es una señal de alerta indicadora de la posibilidad de sobrepasar el límite anual[43]. Es por esto que se recomienda a las empresas usuarias de dosimetría que establezcan dentro de sus programas de protección radiológica, sus propios niveles de investigación; de manera tal que los valores obtenidos por el responsable de la protección radiológica de la instalación, no lleguen a ser iguales a los límites legales.

Toda dosis que supere el valor de 12.0 mSv/mes debe ser inmediatamente reportada a la Autoridad Reguladora, con el fin de emprender acciones que reduzcan o eviten la exposición[43].

8.2. TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DISEÑO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

Antes de realizar el diseño de la herramienta informática, se realizó un estudio con el la gerencia y la unidad funcional de sistemas de la clínica Los Rosales para validar ventajas en cuanto a costo – beneficio, capacitación del personal, tiempos de ejecución y la no adquisición de nuevas licencias que implicarían gastos extras para la clínica; lo cual constituyó un punto determinante en la elaboración de este trabajo en cuanto a la elección del lenguaje de programación. La clínica Los Rosales, cuenta con licencia autorizada de Microsoft Office en los computadores de sus instalaciones, una suscripción con Office 365 para empresas que permite utilizar todas las herramientas necesarias, incluyendo Word, Excel, PowerPoint, Outlook y mucho más. Incluyen herramientas que ayudan a crear sitios web, compartir documentos, participar en conferencias en video de alta definición y más.

Excel se utiliza en la clínica Los Rosales a diario para gestionar, simplemente en hojas de cálculo, cantidad de procesos relacionados con la administración, control de inventarios, control de activos, gestión en ingeniería biomédica y las historias clínicas.

Por las anteriores razones se llegó al consenso de que el programa informático que más se ajustaba a las condiciones y necesidades de la clínica era Microsoft Excel, así se evitaba compra innecesaria de nuevas licencias de funcionamiento, razón por la cual la herramienta informática se desarrolló en el lenguaje de programación Visual Basic for Applications para Excel.

8.2.1. Programa Informático

Microsoft Excel:

Microsoft Excel, es la hoja de cálculo líder en el mercado mundial. Es el software más potente, flexible y más utilizado del mundo. Su ámbito de aplicabilidad va de la economía a la psicología, de la biología al dibujo, de las matemáticas aplicadas a la administración, de la ingeniería a la gestión de recursos humanos, entre otras[44]. En este software se pueden insertar valores numéricos o datos en las filas o columnas, y posteriormente, utilizar estas entradas numéricas para fines tales como cálculos, gráficos y análisis estadístico avanzado.

Microsoft Excel se usa generalmente para analizar valores en actividades escolares, universitarias y empresariales. Los contadores suelen utilizar este programa para escribir o registrar gastos e ingresos en la empresa o en una institución o pequeñas agencias. El programa Microsoft Excel es muy útil en la enseñanza de la química, física e ingeniería debido a su amplia capacidad para procesar y presentar datos. Microsoft Excel es muy importante para analizar experimentos de física, como simulación física, regresión lineal, VBA (Visual Basic Analysis), presentación y cálculo de física[45].

Excel es ampliamente utilizado por las empresas, agencias de servicios, grupos de voluntarios, organizaciones del sector privado, científicos, estudiantes, educadores, formadores, investigadores, periodistas, contadores y otros, por lo que se ha convertido en un elemento básico de los usuarios finales y profesionales de negocios.

8.2.2. Lenguaje de programación

Las aplicaciones de Office, como Excel, tienen Visual Basic for Applications (VBA), un lenguaje de programación que brinda la posibilidad de ampliar dichas aplicaciones. VBA es el lenguaje que funciona mediante la ejecución de macros, procedimientos paso a paso escritos en Visual Basic, por ende, la razón más frecuente por la cual se usa VBA en Excel es para automatizar tareas repetitivas[46].

El Editor de VBA de Excel es una poderosa herramienta para crear programas personalizados y diseñarlos de manera sencilla, desarrollando nuevas funcionalidades en Excel. Permite utilizar sus plantillas para dar un formato más adecuado a los datos y las distintas funciones y métodos de Excel para obtener resultados de excelente calidad. Las Macros en Excel son un conjunto de instrucciones que se ejecutan de manera secuencial por medio de una orden de ejecución, una Macro puede invocar a otras, logrando obtener operaciones más complejas. Permiten la automatización de tareas repetitivas y realizarlas en el menor tiempo.

La Interfaz Gráfica del Usuario (Graphic User Interface, GUI, del inglés), es un método para facilitar la interacción del usuario con el computador a través de la utilización de un conjunto de imágenes y objetos pictóricos. (Iconos, ventanas) además de texto. Surge como evolución de la línea de comandos de los primeros sistemas operativos y es pieza fundamental en un entorno gráfico[46].

8.2.3. Características del sistema operativo

Para poder utilizar Microsoft Excel 2010 o 2016 y así hacer uso de la herramienta informática se necesita como mínimo, un equipo con las siguientes características técnicas:

- CPU x86 a 1 GHz con instrucciones SSE2.
- 2 GB de RAM.
- 3 GB de HDD.
- Resolución de pantalla de 1.280 x 800.
- Gráficos compatibles con DirectX 10.
- Windows 7 SP 1 o superior.
- Microsoft Edge, Mozilla Firefox 35, Chrome 40, Internet Explorer 9 o superiores.
- .NET 3.5 como mínimo.

8.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

DosiTOE's 1.0, nombre con la que se llamó a la herramienta informática desarrollada, se presenta como una herramienta de apoyo para poder registrar, sistematizar y automatizar la gestión de los reportes de dosis equivalente para tejido profundo Hp(10), aplicada a la exposición externa de cuerpo entero a una profundidad de tejido de 1 centímetro (10mm) para estimar la dosis efectiva; y los reportes para estimar la dosis equivalente en cristalino Hp(3) a una profundidad de 0,3 centímetros (3mm).

DosiTOE's 1.0 se desarrolló siguiendo estándares y tecnologías de Microsoft, donde su arquitectura informática está basada en el uso de módulos independientes con tareas bien definidas, proporcionando una implementación acoplada y cohesionada.

Actualmente la herramienta informática se encuentra en uso en la clínica Los Rosales, a cargo del oficial de protección radiológica, a quien ya se capacitó para el manejo de ésta. Además, ha sido presentada a las directivas de la clínica para su evaluación y respectiva aprobación.

En los reportes de dosis se visualizarán los niveles de Hp(10) y Hp(3) de los TOE's respectivamente, a través de códigos de colores para facilitar la interpretación y vigilancia de la optimización de la protección radiológica por medio de los límites de dosis.

8.3.1. Diagrama de Flujo de la herramienta informática

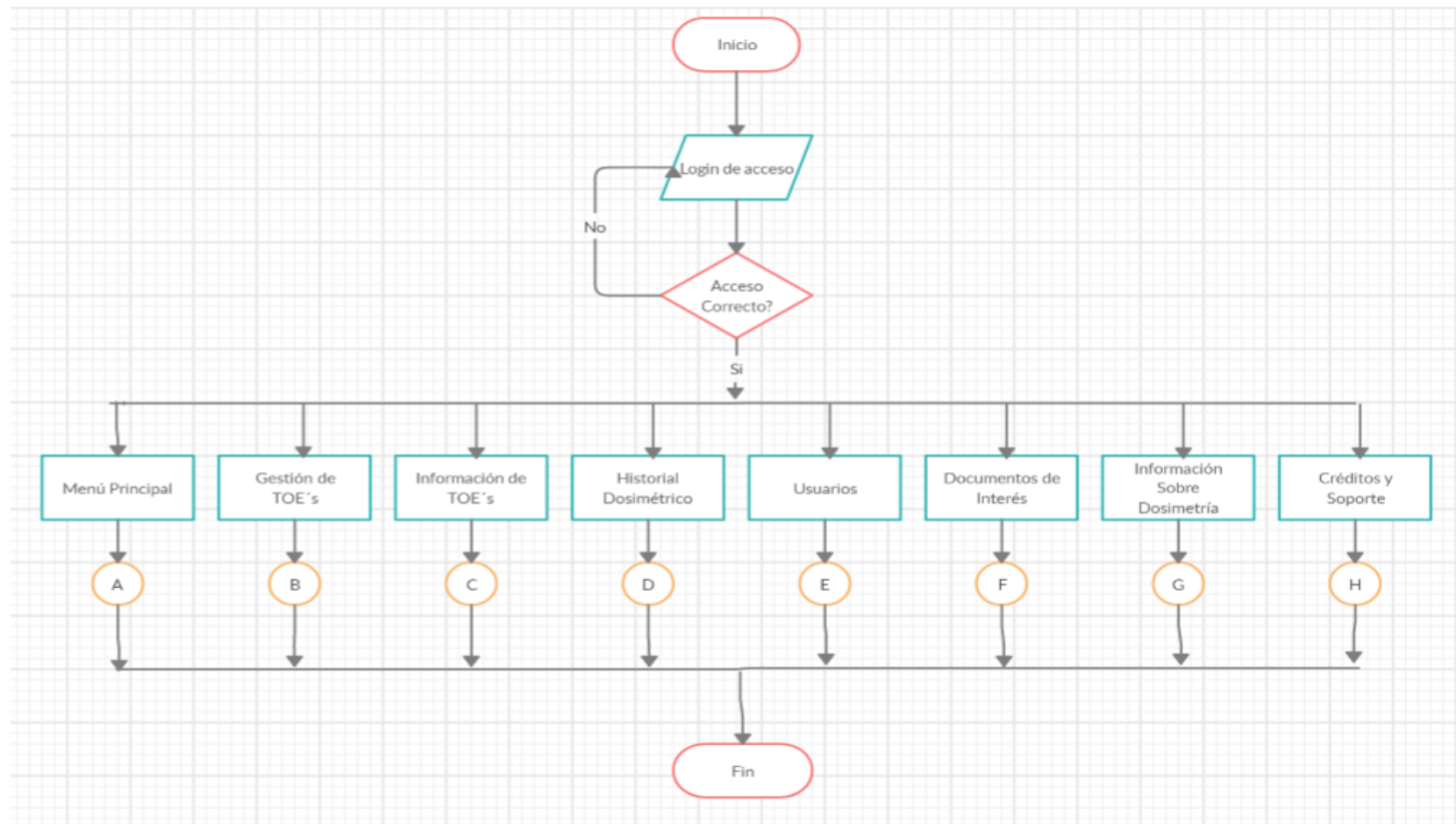


Ilustración 36. Diagrama de flujo de la herramienta informática.

Fuente: Esta Investigación 2019.

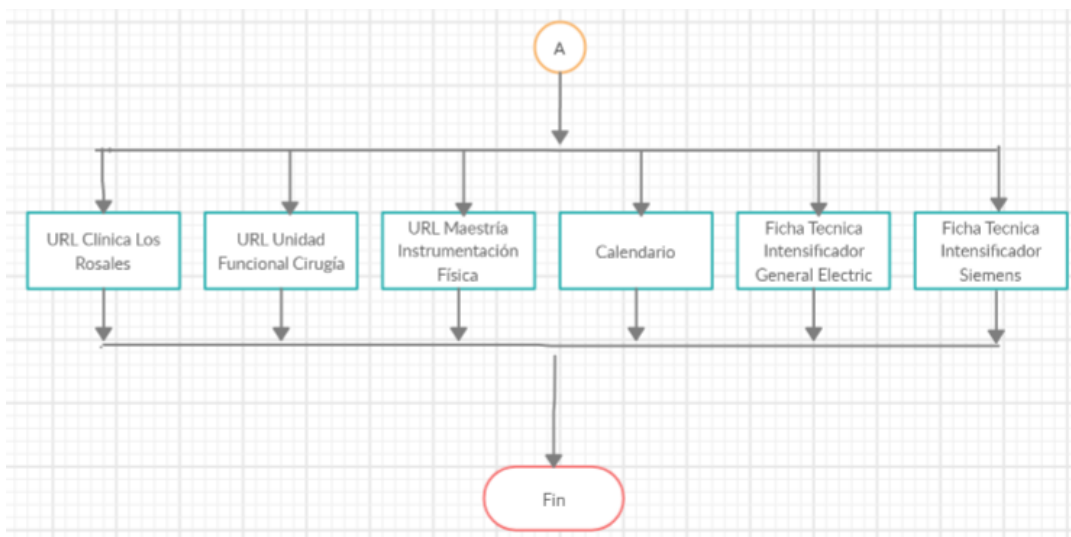


Ilustración 37. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Menú Principal.

Fuente: Esta Investigación 2019.

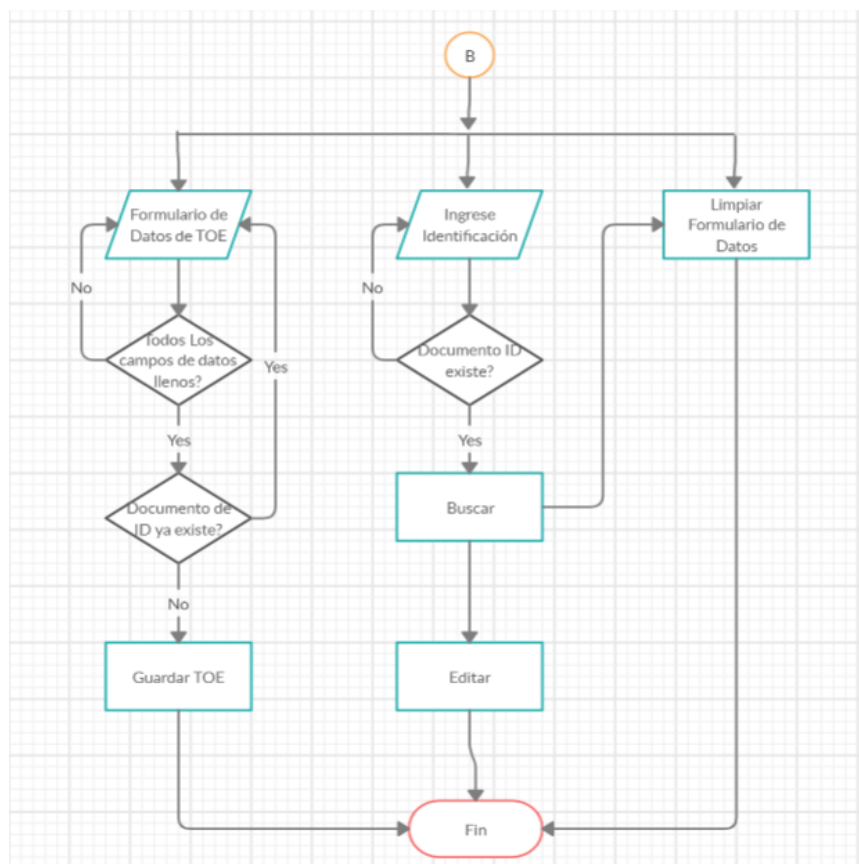


Ilustración 38. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Gestión de TOE's.

Fuente: Esta Investigación 2019.

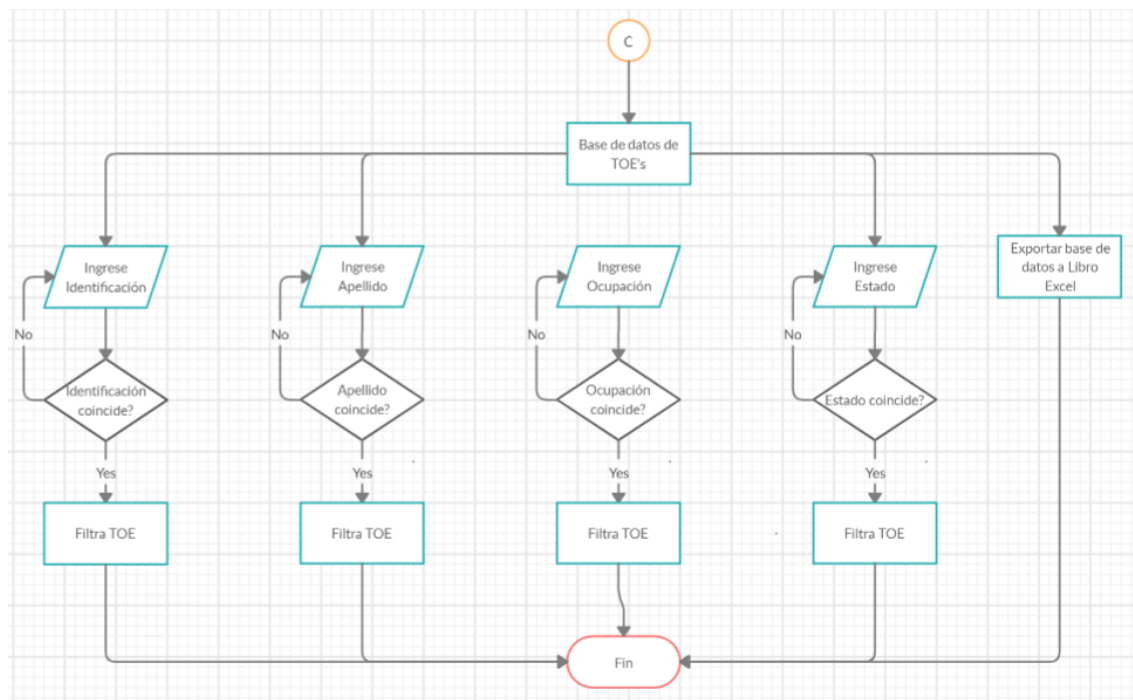


Ilustración 39. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Información TOE's.

Fuente: Esta Investigación 2019.

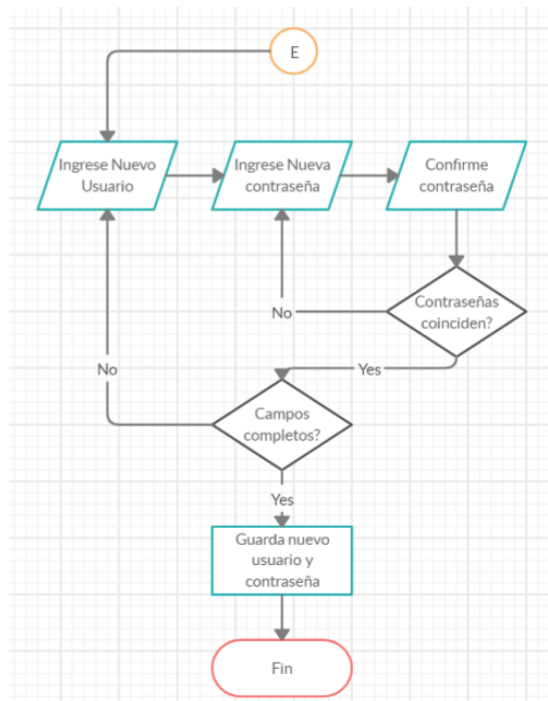


Ilustración 40. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Usuarios.

Fuente: Esta Investigación 2019.

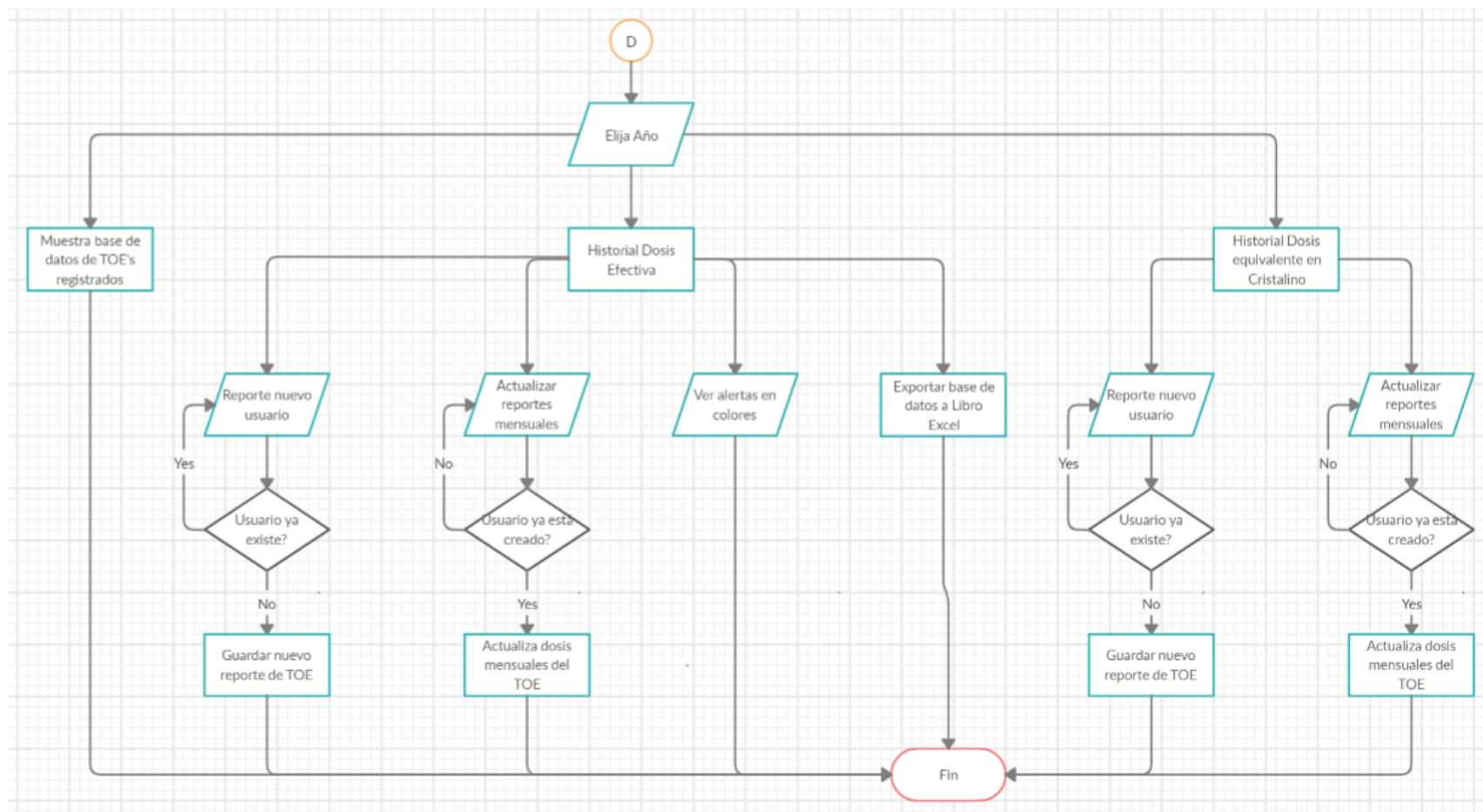


Ilustración 41. Diagrama de flujo de la herramienta informática, Historial Dosimétrico.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2. Interfaz Gráfica de Usuario

La interfaz gráfica de usuario de la aplicación está constituida por una serie de formularios, que son las diferentes ventanas que ve el usuario cuando hace uso de la aplicación y con las cuales puede interactuar. Esta interacción se produce a través de los distintos controles que contiene cada formulario: fichas, botones, cuadros de texto, cuadros combinados, cuadros de lista, casillas de verificación, etc. Tanto los controles como los formularios disponen de un conjunto de propiedades (tamaño, color, etc.) y comportamientos o acciones llamadas métodos y además responden a eventos provocados por el usuario (como, por ejemplo, hacer clic sobre un botón) o por el sistema.

VBA es un lenguaje de programación orientado a eventos y entorno de desarrollo integrado, desarrollado por Microsoft que hace un uso intensivo de componentes de código predefinidos. El entorno de diseño visual de VBA permite a los desarrolladores construir rápidamente o mejorar la interfaz gráfica de usuario basados en programas y aplicaciones. La creación de un programa basado en GUI en VBA es tan fácil como arrastrar y colocar controles en un objeto del formulario[46].

A continuación, se explica, como se evidenció anteriormente en el diagrama de bloques, los diferentes formularios (UserForm) que hacen parte de la GUI.

Antes de ejecutar DosiTOE's 1.0, se debe leer el manual de usuario que se adjunta en el Anexo A, para no tener inconvenientes con su ejecución y carga de archivos.

8.3.2.1. Ejecutable DosiTOE's 1.0

Como se mencionó anteriormente, el programa ya se encuentra instalado en el computador asignado al Oficial de Protección Radiológica, sin embargo, si se requiere instalar en algún otro computador, se deben seguir los pasos explicados en el manual de usuario. En la carpeta asignada en el Disco Local (C:), se encuentra el acceso al ejecutable, como se evidencia en la siguiente ilustración:



Ilustración 42. Ejecutable DosiTOE's 1.0.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.2. Login de acceso

Luego de ejecutar el programa, aparece una ventana con un Login de acceso, el usuario y contraseña se proporcionaron solamente al OPR por motivos de seguridad

y confidencialidad con las dosis de los TOE's, sin embargo, el usuario y contraseña se la puede encontrar por defecto en el manual de usuario.

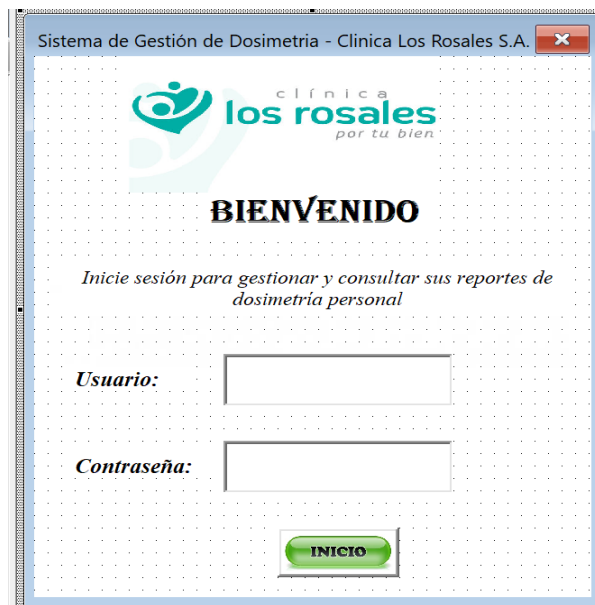


Ilustración 43. Login de acceso.

Fuente: Esta Investigación 2019.

Si el usuario y contraseña coinciden, se emite un mensaje de acceso correcto, permitiendo acceder al menú principal, como se evidencia en la siguiente ilustración:

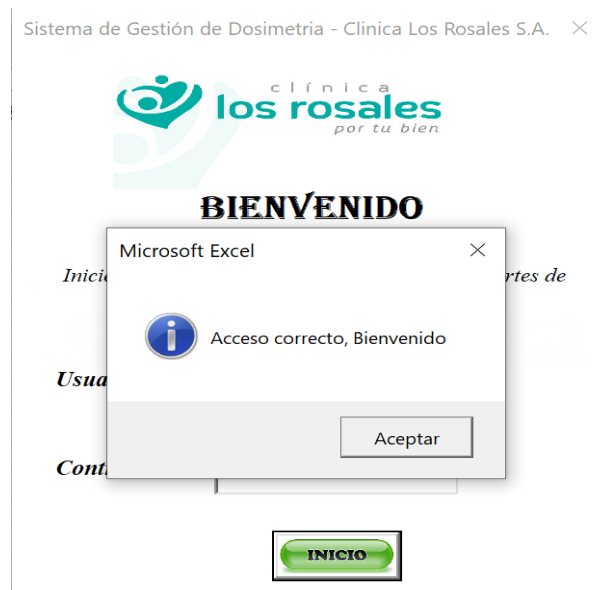


Ilustración 44. Login de acceso, acceso correcto.

Fuente: Esta Investigación 2019.

Si el usuario y contraseña no coinciden, se emite un mensaje de acceso incorrecto, impidiendo acceder al menú principal, por lo cual se debe volver a ingresar el usuario y contraseña correspondiente, como se evidencia en la siguiente ilustración:



Ilustración 45. Login de acceso, acceso incorrecto.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal

Si la validación del login es correcto, el usuario tendrá acceso al sistema de gestión, el cual está conformado de 8 pestañas internas, las cuales se van a mencionar a continuación.

8.3.2.3.1. Menú Principal

Es la primera pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en la cual se puede encontrar información como:

- Botón de acceso a la página principal de la clínica Los Rosales
- Botón de acceso a la página de la Unidad Funcional Cirugía de la clínica Los Rosales, en la cual se muestran los diferentes procedimientos quirúrgicos que se realizan.
- Botón de acceso a la página de la maestría en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Botón de acceso a calendario

- Botones que dan acceso a las fichas técnicas, en formato pdf, de los intensificadores de imagen (equipos generadores de radiación ionizante), con los cuales, se realizan los diferentes procedimientos quirúrgicos en la clínica.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales



Ilustración 46. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Menú principal.


Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3.2. Gestión de TOE's


Es la segunda pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en la cual se puede encontrar información como:

- Formulario de datos de los TOE's, en los cuales se encuentran campos como: No. Identificación, Apellidos, Nombres, Fecha de Ingreso, Género, Ocupación, Estado de actividad.
- Botón Agregar, para ingresar un TOE nuevo a la base de datos.
- Botón Buscar, para indagar existencia o información asociada de un TOE en la base de datos.
- Botón Editar, luego de oprimir la opción buscar, este botón permite editar información asociada a un TOE.
- Botón Limpiar, borra todos los datos que se han escrito en los campos de texto anteriormente nombrados en el formulario de datos.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales



SISTEMA DE GESTIÓN DE DOSIMETRÍA PERSONAL
 CLINICA LOS ROSALES S.A.







Menu Principal | **Gestión de TOE's** | Información de TOE's | Historial Dosimétrico | Usuarios | Documentos de Interés | Información Sobre Dosimetría | Créditos y Soporte

Formulario

No. Identificación: Apellidos: Nombres: Estado:

Fecha de Ingreso: Genero: Ocupación:

 **Agregar**
 **Buscar**
 **Editar**
 **Limpiar**

IMPORTANTE: Si desea editar o buscar algun TOE, por favor ingrese primero el número de documento de Identificación en la casilla "No. Identificación", luego presione el comando "Buscar" para proceder a editar los datos correspondientes.

Ilustración 47. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Gestión de TOE's.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3.3. Información de TOE's.

Es la tercera pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales



SISTEMA DE GESTIÓN DE DOSIMETRÍA PERSONAL
 CLINICA LOS ROSALES S.A.



Menu Principal | Gestión de TOE's | **Información de TOE's** | Historial Dosimétrico | Usuarios | Documentos de Interés | Información Sobre Dosimetría | Créditos y Soporte

Busqueda Avanzada

No. de Identificación: Apellidos: Ocupación: Estado:

IDENTIFICACIÓN	APELLIDOS	NOMBRES	OCUPACIÓN	GENERO	FECHA INGRESO	ESTADO
1085282833	GIRALDO CARDONA	DIEGO FERNANDO	MSc. Físico Médico	Masculino	31/07/2019	Activo
1085282844	MONTUFAR HIDALGO	DIEGO	MSc. Físico Médico	Femenino	05/08/2019	Activo
1085282811	GARCIA	CATALINA	Enfermería Profesional	Femenino	23/07/2019	Activo
1089610205	MONTUFAR GIRALDO	ISABELLA	Médico Gastroenterólogo	Femenino	31/07/2019	Activo
75096718	PATINO	OMAR	MSc. Físico Médico	Masculino	10/08/2019	Activo
1085282800	GIRALDO	LEIDY	Médico Anestesiólogo	Femenino	13/08/2019	Activo
1088289572	MONTOYA JARAMILLO	CATALINA	Oficial de Protección Radiológica	Femenino	09/08/2019	Activo
1085282822	LEIDY	GIRALDO	Enfermería Profesional	Femenino	17/08/2019	Activo

Ilustración 48. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Información de TOE's.

Fuente: Esta Investigación 2019.

En esta pestaña se puede encontrar información como:

- Base de datos de los TOE's que son agregados incluye los mismos campos requeridos en la pestaña Gestión de TOE's.
- Formulario de búsqueda avanzada, en la cual se puede consultar o filtrar a los TOE's a través de su número de identificación, apellidos, ocupación o estado.
- Botón de color verde fluorescente que permite exportar la base de datos de los TOE's, a un libro de Excel para fines pertinentes del OPR.

8.3.2.3.4. Historial Dosimétrico

Cuarta pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, una de las opciones más importantes del sistema, debido a que, en esta se administran todos los reportes de dosimetría.

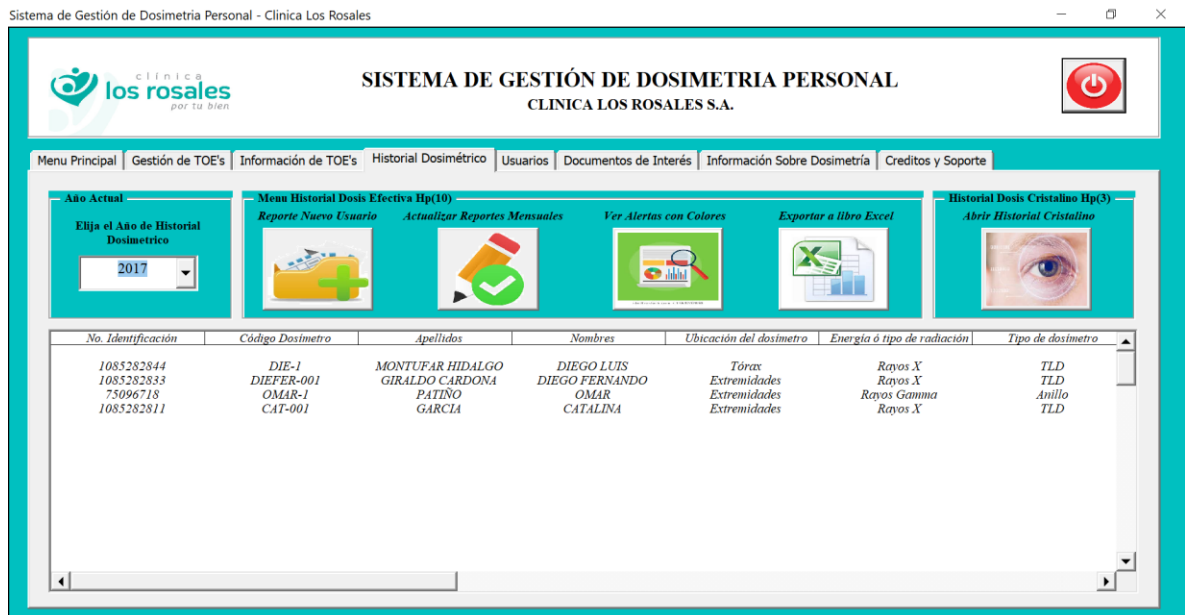


Ilustración 49. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico.

Fuente: Esta Investigación 2019.

Se puede encontrar información como:

- Base de datos de los TOE's con sus respectivas dosis mensuales, incluye campos como: No. Identificación, Código Dosímetro, Apellidos, Nombres, Ubicación del dosímetro, Energía o tipo de radiación, dosis mensuales Hp(10) correspondiente a cada mes del año, dosis acumulada Hp(10) en un año oficial, dosis acumulada Hp(10) desde el ingreso al servicio.

- Año actual, botón de lista seleccionable, en el cual se elige el año para mostrar la información de los TOE's en la base de datos correspondientes al historial de dosis efectiva Hp(10). El año seleccionado también muestra la dosis equivalente en cristalino Hp(3) al seleccionar el botón correspondiente.

En el menú Historial Dosis Efectiva encontramos las siguientes funciones:

- Botón de reporte nuevo usuario, al presionar este botón se muestra un nuevo formulario para agregar un nuevo TOE a la base de datos correspondiente al año seleccionado.

Ilustración 50. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico, Reporte Nuevo Usuario.

Fuente: Esta Investigación 2019.

- Botón Actualizar Reportes Mensuales, al presionar este botón se muestra un nuevo formulario para editar y anexar las dosis de los reportes de dosimetría mensuales correspondientes al periodo seleccionado.
- Botón Exportar a Libro Excel, que permite exportar la base de datos de los TOE's con sus dosis correspondiente mensuales y acumuladas a un libro de Excel para fines pertinentes del OPR.
- Botón Ver Alertas con Colores, al presionar este botón se muestra un nuevo formulario en el cual se visualiza la base de datos de los TOE's de un cierto periodo seleccionado, pero las dosis se muestran con colores para realizar vigilancia, seguimiento e inspección de posible sobrepaso de límites de dosis recomendados. Los colores se escogieron para identificar un posible sobrepaso de límites mensuales y dosis acumulada en un año oficial.

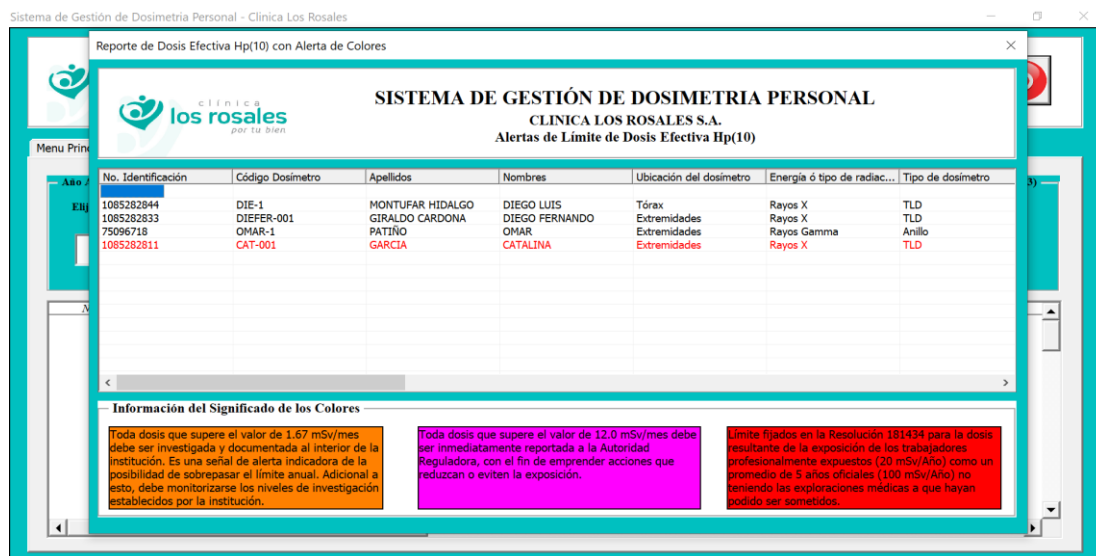


Ilustración 51. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico, Ver Alertas en Colores.

Fuente: Esta Investigación 2019.

- Botón Historial Dosis Cristalino Hp(3), al presionar se muestra la base de datos de los TOE's con sus respectivas dosis mensuales en una nueva ventana, incluye campos como: No. Identificación, Código Dosímetro, Apellidos, Nombres, Ubicación del dosímetro, Energía o tipo de radiación, dosis mensuales Hp(3) correspondiente a cada mes del año, dosis acumulada Hp(3) en un año oficial, dosis acumulada Hp(3) desde el ingreso al servicio.



Ilustración 52. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Historial Dosimétrico Cristalino.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3.5. Usuarios

Quinta pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se administran el cambio de usuario y contraseña de acceso al sistema.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales



Ilustración 53. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Usuarios.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3.6. Documentos de Interés

Sexta pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se presentan botones que dan acceso a archivos pdf importantes que son útiles para presentar en una visita de inspección por parte del ente regulador. Tales archivos son:

- Resolución 482 de 2018
- Circular 29 de 2018
- Resolución 2003 de 2014
- Resolución 1814 34 de 2002
- Resolución 4816 de 2008
- Cálculo de blindajes de salas de cirugía
- Último control de calidad de intensificadores de imagen
- Licencia práctica médica equipos generadores de radiación ionizante
- Programa institucional de protección radiológica

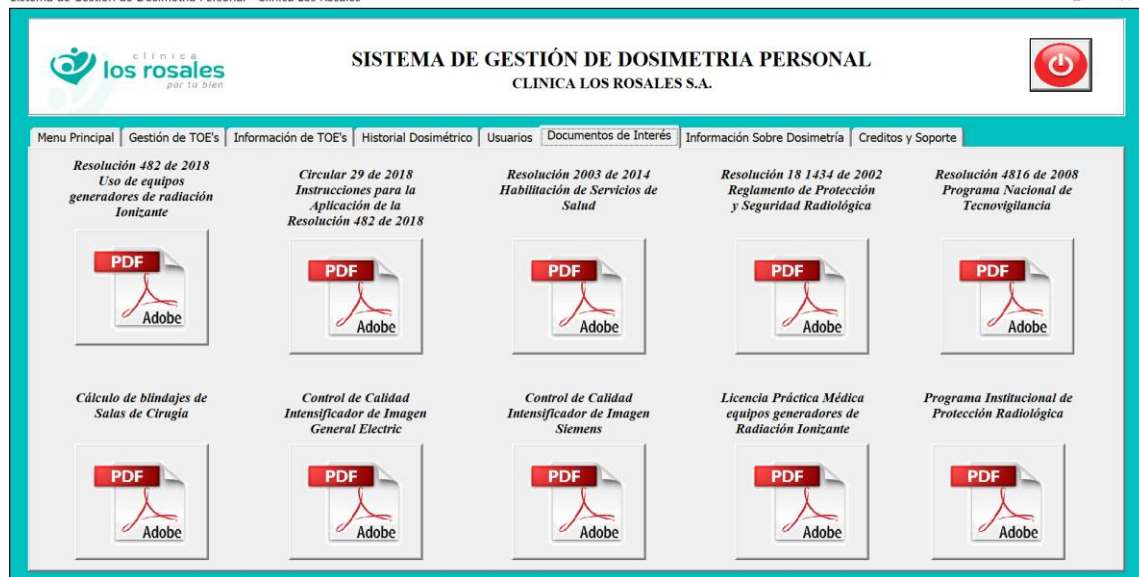


Ilustración 54. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Documentos de Interés.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3.7. Información sobre dosimetría

Séptima pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se presentan notas importantes que sirven como guía rápida para interpretar las nomenclaturas de los reportes de dosimetría personal y alguno conceptos.

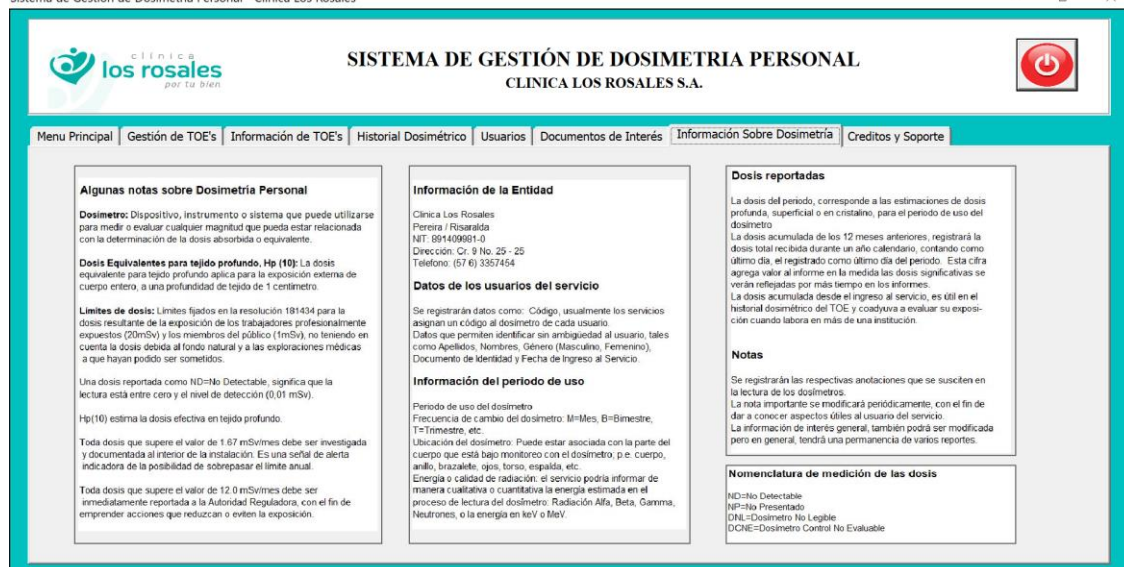


Ilustración 55. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Información Sobre Dosimetría.

Fuente: Esta Investigación 2019.

8.3.2.3.8. Créditos y Soporte

Octava y última pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se presenta la siguiente información:

- Botón con acceso a la hoja de vida del asesor del trabajo de maestría.
- Botón con acceso a la hoja de vida del estudiante que realiza el trabajo de maestría en formato pdf.
- Botón que muestra todo el contenido académico de la maestría con su pensum académico, respectivas líneas y grupos de investigación, en formato pdf.



Ilustración 56. Sistema de Gestión de Dosimetría Personal, Créditos y Soporte.

Fuente: Esta Investigación 2019.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una herramienta informática de fácil manejo que gestiona, sistematiza y automatiza los reportes de dosis de radiación de los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos de la clínica Los Rosales S.A. en el área de radiodiagnóstico e intervencionismo. DosiTOE's 1.0, sistema de gestión de dosimetría personal, por medio de su interfaz gráfica de usuario, permite visualizar en una base de datos, la dosis equivalente para tejido profundo Hp(10) para estimar la dosis efectiva y la dosis equivalente en cristalino Hp(3), de manera mensual, acumulada en un año oficial y la dosis total acumulada desde el ingreso al servicio, siguiendo así, las recomendaciones del Ministerio de Minas y Energía emitidas en su circular 18 018 del 12 de junio de 2009 en su diseño del formato único para reporte a los usuarios de los servicios de dosimetría.

A los profesionales de la salud involucrados en la realización del presente trabajo, les proporciona información que puede ser utilizada en el proceso de optimización de la protección radiológica en cuanto al uso de las técnicas preestablecidas en los equipos generadores de radiación ionizante, debido a que, durante la investigación en campo, para la recolección de datos referentes a exposición de dosis y tiempos, se evidenció el uso no adecuado de las características técnicas que presentan estos equipos, por el uso constante de la fluoroscopia continua y los disparos de rayos x en modo automático, hecho que puede implicar mayor exposición a la radiación en dosis y tiempo.

Con base en el análisis, los resultados del presente trabajo y la discusión, se puede concluir que el uso de medios de aprendizaje basados en el lenguaje de programación Visual Basic for Applications, de Microsoft Excel, puede considerarse un buen programa, lo suficientemente potente y adecuado enfocado al desarrollo de algunas aplicaciones en física. Lo anterior, de acuerdo con una prueba de ganancia normalizada que muestra un aumento en los estudiantes que fueron enseñados usando medios de aprendizaje basados en Microsoft Excel para resolver problemas y crear aplicaciones en física[45].

Esta herramienta facilitó al OPR de la clínica Los Rosales, el cálculo manual de la dosis efectiva y equivalente en cristalino, de tal forma que se pueda hacer un seguimiento y vigilancia de la dosis al TOE, gracias a su visualización de alertas por medio de colores. Además, este programa permitirá a la instalación establecer de manera rápida y confiable los niveles de investigación de los TOE's.

En general, el presente trabajo, brinda mecanismos que permite la mejora intrínseca de la calidad de los procedimientos clínicos. Las instituciones sanitarias pueden disponer de una herramienta con información cuantitativa que puede ser de gran utilidad a la hora de establecer campañas de seguridad de los trabajadores, y en la

formulación y definición de políticas de seguridad radiológica, ya que proporciona información cuantitativa, detallada, individual y útil a la hora de examinar o investigar los niveles de dosis de los trabajadores. En los estudios de investigación clínica, el historial dosimétrico proporciona indicadores de dosis específicos para cada TOE, útiles en cualquier caso a la hora de implementar mejores prácticas o en el desarrollo de los criterios de vigilancia radiológica, en el proceso del establecimiento de programas institucionales que permitan el seguimiento de la exposición de los TOE's y pacientes.

RECOMENDACIONES

La herramienta informática en su primera versión, presenta información útil y detallada, que cumple lineamientos exigidos por la legislación nacional. A futuro se puede seguir actualizando esta herramienta, en su segunda versión, para poder hacer de ella un programa robusto que no esté dirigido a una Institución en particular, sino que sirva como un programa interinstitucional, para aquellas entidades radiológicas en las cuales sea de gran interés gestionar un sistema de dosimetría personal. Se pueden realizar mejoras como impresión de informes, análisis estadístico, impresión de historial individual, conexión con un servidor para la gestión de la base de datos en diferentes servicios de la institución, actualizar la gestión para la dosis equivalente en extremidades y piel $H_p(0.07)$, que es característica principal de centros de medicina nuclear, entre otros aspectos.

Una de las principales recomendaciones en intervencionismo es utilizar fluoroscopia pulsada, esto hace que se administre una menor exposición de radiación ionizante tanto a los TOE's como a los pacientes, lo anterior se evidenció durante la fase de investigación y se explicó al OPR y al servicio de Ingeniería Biomédica, donde se solicitó al fabricante de cada equipo generador de radiación ionizante, se capacite al personal que realiza el respectivo manejo de los equipos.

Así mismo, debería considerarse una prioridad el establecimiento de niveles de referencia diagnósticos para las distintas magnitudes que se definan en función de la modalidad y prestación a realizar, siendo de gran interés el conocimiento de esta información por el personal involucrado en la realización de los procedimientos con radiaciones ionizantes. La ICRP, es una institución referente a nivel mundial en el uso de recomendaciones, legislaciones, guías, programas y prácticas, por lo anterior, con el fin de establecer un marco común a nivel europeo sobre los niveles de dosis adecuados, en su publicación número 73 [8] introdujo el concepto de niveles de referencia para diagnóstico (NRD). De este modo, los valores de dosis obtenidos en cada centro de Radiodiagnóstico particular deben de situarse en estos NRD.

MANUAL DE USUARIO DosiTOE's 1.0

“HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA
LA GESTIÓN DE DOSIMETRÍA
PERSONAL”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN INSTRUMENTACIÓN FÍSICA
PEREIRA, RISARALDA

Índice

Introducción	3
Instalación	3
Requisitos	3
Instalación de la aplicación	3
Crear acceso directo del archivo Excel.....	4
Usuario y contraseña por defecto para Login	4
Como guardar los archivos PDF en la carpeta	4
Manejo de la aplicación	5
Ejecutable DosITOE's 1.0	5
Login de acceso	5
Sistema de Gestión de Dosimetría Personal	7
1. Menú Principal	7
2. Gestión de TOE's	8
3. Información de TOE's.....	9
4. Historial Dosimétrico	10
5. Usuarios	12
6. Documentos de Interés	12
7. Información sobre dosimetría.....	13
8. Créditos y Soporte.....	14

Introducción

DositOE's 1.0, se presenta como una herramienta de apoyo para registrar, sistematizar y automatizar la gestión de los reportes de dosis equivalente para tejido profundo Hp(10), aplicada a la exposición externa de cuerpo entero a una profundidad de tejido de 1 centímetro (10mm) para estimar la dosis efectiva; y los reportes para estimar la dosis equivalente en cristalino Hp(3) a una profundidad de 0,3 centímetros (3mm).

DositOE's 1.0 se desarrolló siguiendo estándares y tecnologías libres, además, la arquitectura está basada en el uso de patrones de diseño y organizada en módulos independientes con responsabilidades bien definidas, proporcionando una implementación acoplada y muy cohesionada.

En los reportes de dosis se visualizarán los niveles de Hp(10) y Hp(3) de los TOE's respectivamente, a través de códigos de colores para facilitar la interpretación y vigilancia de la optimización de la protección radiológica por medio de los límites de dosis recomendados.

Instalación

Es un proceso sencillo, siempre y cuando se tenga en cuenta los temas aquí tratados: requisitos e instalación de la aplicación.

Requisitos

Para poder utilizar Microsoft Excel 2010 o 2016 y así hacer uso de la herramienta informática se necesita como mínimo, un equipo con las siguientes características técnicas:

- CPU x86 a 1 GHz con instrucciones SSE2.
- 2 GB de RAM.
- 3 GB de HDD.
- Resolución de pantalla de 1.280 x 800.
- Gráficos compatibles con DirectX 10.
- Windows 7 SP 1 o superior.
- Microsoft Edge, Mozilla Firefox 35, Chrome 40, Internet Explorer 9 o superiores.
- .NET 3.5 como mínimo.

Instalación de la aplicación

Una vez cumplido estos requisitos, siga los pasos siguientes:

Para instalar la extensión simplemente se descomprime la carpeta con nombre "Software Clínica Los Rosales", se debe guardar en la ruta que se describe a continuación. Es importante aclarar que todos los archivos deben quedar en esta carpeta.

Ruta: "C:\Program Files"

Nota: No guardar en "Program Files (x86)"

Crear acceso directo del archivo Excel

Para hacer uso de la aplicación se puede crear un acceso directo del archivo de Excel llamado "DosiTOE's 1.0" y ubicarlo donde se desee.

Usuario y contraseña por defecto para Login

Usuario: rosales (Sin mayúsculas)

Contraseña: 123

Como guardar los archivos PDF en la carpeta

Para actualizar los documentos de interés (archivos pdf) que se encuentran adjuntos al programa se debe seguir la siguiente ruta:

"C:\Program Files\Software Clínica Los Rosales\PDF's para cargar en aplicación\XXX.pdf"

XXX hace referencia al nombre de cómo se deben guardar los PDF's en la carpeta anteriormente mencionada y resaltada en negrilla:

- ControlCalidadGeneralElectric
- ControlCalidadSiemens
- CalculoBlindajes
- LicenciaPracticaMedica
- ProgramaProteccionRadiologica

ControlCalidadGeneralElectric, hace referencia al último control de calidad del equipo Intensificador de imagen marca: GENERAL ELECTRIC

Manual de usuario DosiTOE's 1.0

ControlCalidadSiemens, hace referencia al último control de calidad del equipo Intensificador de imagen marca: SIEMENS

CalculoBlindajes, hace referencia a los documentos donde se encuentran registrados los cálculos de blindajes realizados en la construcción de las salas de cirugía.

LicenciaPracticaMedica, hace referencia al documento en el cual se autoriza al prestador de servicios de salud a hacer uso de equipos generadores de radiación ionizante en una práctica médica, se entiende como práctica toda actividad humana que introduce el uso de equipos generadores de radiación ionizante.

ProgramaProteccionRadiologica, dicho Programa de Protección Radiológica contiene fundamentalmente las normas y procedimientos operacionales de una instalación de rayos x con fines de diagnóstico médico para cumplir el objetivo fundamental de la Protección Radiológica de los Trabajadores Expuestos y el público en general: prevenir la producción de efectos biológicos no estocásticos y limitar la probabilidad de incidencia de los efectos estocásticos por debajo de valores aceptables.

NOTA IMPORTANTE: Al guardar los archivos PDF en la carpeta nombrada anteriormente, se recomienda reemplazar los archivos en el destino SIN eliminar los demás documentos.

Manejo de la aplicación

Ejecutable DosiTOE's 1.0

En la carpeta asignada en el Disco Local (C:), en la ruta establecida anteriormente, se encuentra el acceso al ejecutable, como se evidencia en la siguiente ilustración:



DosiTOE's 1.0

Login de acceso

Luego de ejecutar el programa, aparece una ventana con un Login de acceso, el usuario y contraseña ya se suministró anteriormente en el presente manual.



Si el usuario y contraseña coinciden, se emite un mensaje de acceso correcto, permitiendo acceder al menú principal, como se evidencia en la siguiente ilustración:



Si el usuario y contraseña no coinciden, se emite un mensaje de acceso incorrecto, impidiendo acceder al menú principal, por lo cual se debe volver a ingresar el usuario y contraseña correspondiente, como se evidencia en la siguiente ilustración:



Sistema de Gestión de Dosimetría Personal

Si la validación del login es correcto, el usuario tendrá acceso al sistema de gestión, el cual está conformado de 8 pestañas internas, las cuales se van a mencionar a continuación.

1. Menú Principal

Es la primera pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en la cual se puede encontrar información como:

- Botón de acceso a la página principal de la clínica Los Rosales
- Botón de acceso a la página de la Unidad Funcional Cirugía de la clínica Los Rosales, en la cual se muestran los diferentes procedimientos quirúrgicos que se realizan.
- Botón de acceso a la página de la maestría en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Botón de acceso a calendario
- Botones que dan acceso a las fichas técnicas, en formato pdf, de los intensificadores de imagen (equipos generadores de radiación ionizante), con los cuales, se realizan los diferentes procedimientos quirúrgicos en la clínica.



2. Gestión de TOE's

Es la segunda pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en la cual se puede encontrar información como:

- Formulario de datos de los TOE's, en los cuales se encuentran campos como: No. Identificación, Apellidos, Nombres, Fecha de Ingreso, Género, Ocupación, Estado de actividad.
- Botón Agregar, para ingresar un TOE nuevo a la base de datos.
- Botón Buscar, para indagar existencia o información asociada de un TOE en la base de datos.
- Botón Editar, luego de oprimir la opción buscar, este botón permite editar información asociada a un TOE.
- Botón Limpiar, borra todos los datos que se han escrito en los campos de texto anteriormente nombrados en el formulario de datos.

Manual de usuario DosITOE's 1.0

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales

SISTEMA DE GESTIÓN DE DOSIMETRÍA PERSONAL
CLÍNICA LOS ROSALES S.A.

Menú Principal | **Gestión de TOE's** | Información de TOE's | Historial Dosimétrico | Usuarios | Documentos de Intento | Información Sobre Dosimetría | Créditos y Soporte

Formulario

No. Identificación: Apellidos: Nombres: Estado:

Fecha de Ingreso: Genero: Ocupación:

Agregar **Buscar** **Editar** **Limpiar**

¡IMPORTANTE! Si desea editar o borrar algún TOE, por favor ingrese primero el número de documento de identificación en la casilla "No. Identificación", luego presione el comando "Buscar" para buscar y editar los datos correspondientes.

3. Información de TOE's.

Es la tercera pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales

SISTEMA DE GESTIÓN DE DOSIMETRÍA PERSONAL
CLÍNICA LOS ROSALES S.A.

Menú Principal | **Gestión de TOE's** | Información de TOE's | Historial Dosimétrico | Usuarios | Documentos de Intento | Información Sobre Dosimetría | Créditos y Soporte

Búsqueda Avanzada

No. de identificación: Apellidos: Nombres: Estado:

IDENTIFICACIÓN	APELLIDOS	NOMBRES	OCUPACIÓN	GENERO	FECHA INGRESO	ESTADO
0005202001	GERALDO CARONIA	DIEGO FERNANDO	MSc. Fisico Médico	Masculino	11/07/2019	Activo
0005202002	MONTUFAR HIDALGO	DIEGO	MSc. Fisico Médico	Femenino	01/08/2019	Activo
0005202003	GARCIA	CATALINA	Enfermería Profesional	Femenino	11/07/2019	Activo
0005202004	MONTUFAR GIBALDO	DIANELE	Médico Gastroenterólogo	Femenino	11/07/2019	Activo
0005202005	PALOMO	OMAR	MSc. Fisico Médico	Masculino	10/08/2019	Activo
0005202006	GERALDO	LEIDY	Médico Anestesiólogo	Femenino	11/08/2019	Activo
0005202007	MONTUFA JARAMILLO	CATALINA	Oficial de Promoción Radiológica	Femenino	09/08/2019	Activo
0005202008	LEIDY	GERALDO	Enfermería Profesional	Femenino	17/08/2019	Activo

Exportar a Excel

En esta pestaña se puede encontrar información como:

- Base de datos de los TOE's que son agregados incluye los mismos campos requeridos en la pestaña Gestión de TOE's.
- Formulario de búsqueda avanzada, en la cual se puede consultar o filtrar a los TOE's a través de su número de identificación, apellidos, ocupación o estado.
- Botón de color verde fluorescente que permite exportar la base de datos de los TOE's, a un libro de Excel para fines pertinentes del OPR.

4. Historial Dosimétrico

Cuarta pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, una de las opciones más importantes del sistema, debido a que, en esta se administran todos los reportes de dosimetría.



Se puede encontrar información como:

- Base de datos de los TOE's con sus respectivas dosis mensuales, incluye campos como: No. Identificación, Código Dosímetro, Apellidos, Nombres, Ubicación del dosímetro, Energía o tipo de radiación, dosis mensuales $H_p(10)$ correspondiente a cada mes del año, dosis acumulada $H_p(10)$ en un año oficial, dosis acumulada $H_p(10)$ desde el ingreso al servicio.
- Año actual, botón de lista seleccionable, en el cual se elige el año para mostrar la información de los TOE's en la base de datos correspondientes al historial de dosis efectiva $H_p(10)$. El año seleccionado también muestra la dosis equivalente en cristalino $H_p(3)$ al seleccionar el botón correspondiente.

En el menú Historial Dosis Efectiva encontramos las siguientes funciones:

- Botón de reporte nuevo usuario, al presionar este botón se muestra un nuevo formulario para agregar un nuevo TOE a la base de datos correspondiente al año seleccionado:

- Botón Actualizar Reportes Mensuales, al presionar este botón se muestra un nuevo formulario para editar y anexar las dosis de los reportes de dosimetría mensuales correspondiente al periodo seleccionado.
- Botón Exportar a Libro Excel, que permite exportar la base de datos de los TOE's con sus dosis correspondiente mensuales y acumuladas a un libro de Excel para fines pertinentes del OPR.
- Botón Ver Alertas con Colores, al presionar este botón se muestra un nuevo formulario en el cual se visualiza la base de datos de los TOE's de un cierto periodo seleccionado, pero las dosis se muestran con colores para realizar vigilancia, seguimiento e inspección de posible sobrepaso de límites de dosis recomendados. Los colores se escogieron para identificar un posible sobrepaso de límites mensuales y dosis acumulada en un año oficial.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales

Reporte de Dosis Electiva Hp(10) con Alerta de Colores

SISTEMA DE GESTIÓN DE DOSIMETRÍA PERSONAL
CLÍNICA LOS ROSALES S.A.
Alertas de Límite de Dosis Electiva Hp(10)

No. Identificación	Código Dosimetro	Apellidos	Nombres	Ubicación del dosimetro	Exposición a tipo de radiación	Tipo de dosimetro
148726204	021-5	MONTUÑA HIDALGO	DIEGO LUIS	Tórax	Rayos X	TLD
148726203	021P-001	GUZMÁN CARDONA	DIEGO FERNANDO	Extremidades	Rayos X	TLD
73384718	021-5	PATINO	DIANA	Extremidades	Rayos Gamma	Año
148726201	021-001	GUZMÁN	CATALINA	Extremidades	Rayos X	TLD

Información del Significado de los Colores

- Verde:** Toda dosis que supere el valor de 1.07 mSv/mes debe ser investigada y documentada al interior de la institución. Es una señal de alerta indicadora de la posibilidad de sobrepasar el límite anual. Adicional a esto, debe monitorizarse las dosis de investigación establecidas por la institución.
- Amarillo:** Toda dosis que supere el valor de 12.8 mSv/mes debe ser inmediatamente reportada a la autoridad Reguladora, con el fin de emprender acciones que reduzcan o eviten la exposición.
- Rojo:** Toda dosis en la exposición de un año que se haya acumulado de la exposición de los trabajadores profesionalmente autorizada (20 mSv/año) como un promedio de 3 años, es una (TLD rojo) es una señal de alerta indicadora de la posibilidad de sobrepasar el límite anual.

- Botón Historial Dosis Cristalino Hp(3), al presionar se muestra la base de datos de los TOE's con sus respectivas dosis mensuales en una nueva ventana, incluye campos como: No.

Manual de usuario DosITOE's 1.0

Identificación, Código Dosímetro, Apellidos, Nombres, Ubicación del dosímetro, Energía o tipo de radiación, dosis mensuales Hp(3) correspondiente a cada mes del año, dosis acumulada Hp(3) en un año oficial, dosis acumulada Hp(3) desde el ingreso al servicio.



5. Usuarios

Quinta pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se administran el cambio de usuario y contraseña de acceso al sistema.



6. Documentos de Interés

Sexta pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se presentan botones que dan acceso a archivos pdf importantes que son útiles para presentar en una visita de inspección por parte del ente regulador. Tales archivos son:

Manual de usuario DosiTOE's 1.0

- Resolución 482 de 2018
- Circular 29 de 2018
- Resolución 2003 de 2014
- Resolución 1814 34 de 2002
- Resolución 4816 de 2008
- Calculo de blindajes de salas de cirugía
- Ultimo control de calidad de intensificadores de imagen
- Licencia práctica médica equipos generadores de radiación ionizante
- Programa institucional de protección radiológica

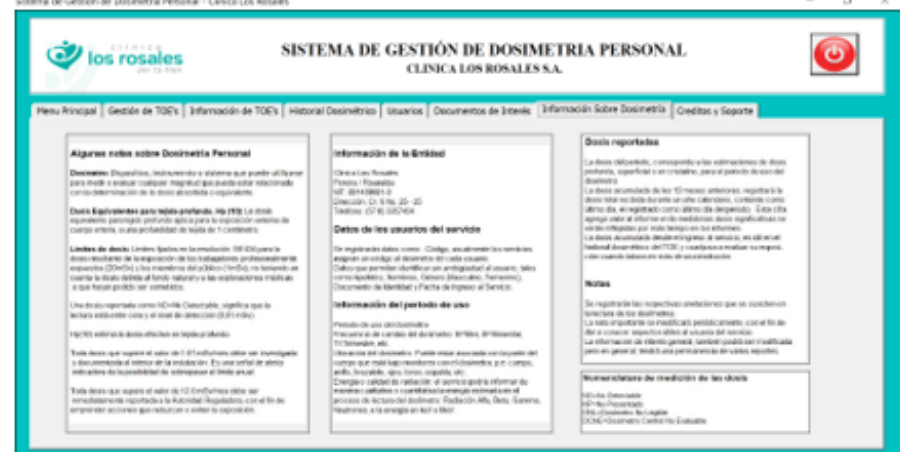
Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales



7. Información sobre dosimetría

Séptima pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se presentan notas importantes que sirven como guía rápida para interpretar las nomenclaturas de los reportes de dosimetría personal y algunos conceptos.

Sistema de Gestión de Dosimetría Personal - Clínica Los Rosales



8. Créditos y Soporte

Octava y última pestaña del sistema de gestión de dosimetría personal, en esta se presenta la siguiente información:

- Botón con acceso a la hoja de vida del asesor del trabajo de maestría.
- Botón con acceso a la hoja de vida del estudiante que realiza el trabajo de maestría en formato pdf.
- Botón que muestra todo el contenido académico de la maestría con su pensum académico, respectivas líneas y grupos de investigación, en formato pdf.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] OIEA, Safety Standards for protecting people and the environment Specific Safety Guide No. SSG-46. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. VIENNA, 2018.
- [2] A. Danny, S. Ariza, Evaluación de riesgos de un servicio de radiología de las Clínicas Reina Sofía y Clínica Universitaria Colombia en la Organización Sanitas Internacional, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2015.
- [3] Consejo de Seguridad Nuclear, Protección radiológica operacional. España, 2009.
- [4] Organización Mundial de la Salud, Los trabajadores sanitarios, 2006.
- [5] Consejo de Seguridad Nuclear, Dosis de Radiación. Madrid, 2010.
- [6] Organización Mundial de la Salud, Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. [Online]. Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>. [Accessed: 20-Jan-2019].
- [7] ICRP, ICRP 103 - Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, ICRP Pub 103, p. 1–117, 2007.
- [8] ICRP, ICRP 105 - Protección Radiológica en Medicina. ICRP Pub 105, p. 61, 2011.
- [9] Ministerio de Minas y Energía, Resolución No. 181434 de diciembre 5 de 2002, p. 69, 2002.
- [10] Consejo de Seguridad Nuclear, Protección radiológica. Madrid, 2012.
- [11] Ministerio de Salud y Protección Social, Resolución No. 482 de 2018, p. 46, 2018.
- [12] Ministerio de Salud y Protección Social, Prestadores de Servicios de Salud. [Online]. Disponible: https://prestadores.minsalud.gov.co/habilitacion/consultas/serviciosedes_reps.aspx. [Accessed: 19-Dec-2018].
- [13] A. M. Sierra Zuluaga, Caracterización dosimétrica de las distribuciones de haces de electrones con campos superiores a 10 centímetros de diámetro en Radioterapia Intraoperatoria. Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [14] Ministerio de Minas y Energía, Estrategia nacional para la prevención, atención y monitoreo de riesgos radiológicos. Bogotá, 2002.
- [15] J. O. Sanchez Cañón, Un análisis sobre la aplicación en Colombia de las vacaciones profilácticas de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes. Colombia, 2014.
- [16] R. E. Echanique, Dosimetría radiológica. Quito, 2018.
- [17] R. Chang, W. College, Química. Séptima ed. México, D.F.: D'vinni Ltda., 2002.
- [18] OIEA, Historia OIEA. [Online]. Disponible: <https://www.iaea.org/es/el-oiea/historia>. [Accessed: 13-Jan-2019].
- [19] Ministerio de Trabajo y Seguridad social, Resolución No. 2400 de 1979. Por el cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad de los establecimientos de trabajo. Colombia, 1979, p. 90.
- [20] R. G. W. Savin., Física Moderna - Schaum, Segunda ed. México, D.F., 2001.
- [21] A. Brosed Serreta, P. Ruiz Manzano, X. Pifarré, R. Torres, I. Hernando, and Á. Rivas Ballarín, Fundamentos de Física Médica. Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad. Madrid, 2012.
- [22] M. Valente, Fundamentos de física médica. Argentina, 2016.
- [23] OIEA, Technical Reports Series No. 457, Dosimetry in diagnostic radiology: An international code of practice. Vienna, 2007.

- [24] E. A. Sánchez Villegas, Implementación de un plan de gestión en protección radiológica para el área de intervencionismo del hospital general ambato del IESS. Ecuador, 2018.
- [25] L. M. Daza and H. Camargo, Manual de radioproteccion de la facultad de odontologia de la universidad nacional de colombia sede Bogotá. Bogotá D.C., 2012.
- [26] C. A. M. Raymond A. Serway, Clement J. Moses, Física Moderna. Tercera ed. Thompson Learning, 2006.
- [27] V. Acosta, Clyde L. Cowan, and B. J. Graham, Curso de física moderna. Mexico D.F.: Oxford University Press, 1973.
- [28] Consejo de Seguridad Nuclear, Las radiaciones. España, 2009.
- [29] OIEA, Lista de Estados Miembros OIEA, 30 Abril 2018, 2018. [Online]. Disponible: <https://www.iaea.org/es/el-oiea/lista-de-estados-miembros>. [Accessed: 02-Feb-2019].
- [30] OIEA, Safety Standards for protecting people and the environment, General Safety Guide No. GSG-7 Occupational Radiation Protection. Vienna, 2018.
- [31] ICRP, Historia de la ICRP. [Online]. Disponible: <http://www.icrp.org/page.asp?id=9>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [32] ICRP, ICRP 113, - Capacitación y entrenamiento en Protección Radiológica para procedimientos diagnósticos e intervencionistas. Publicación 113. 2015.
- [33] El Congreso de Colombia, Ley 16 de 1960 (Septiembre 25) - Por la cual se aprueba el Estatuto del Organismo Intercontinental de Energía Atómica, suscrito en la Ciudad de New York el 26 de octubre de 1956. Colombia, 1960, p. 29.
- [34] El Congreso de Colombia, Ley 9 de 1979 (enero 24) - Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Colombia, 1979, p. 57.
- [35] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Decreto 1295 de 1994 (junio 22) - Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales. Colombia, 2018, pp. 1–33.
- [36] Ministerio de salud y Protección Social, Resolución 4445 de 1996 - Por el cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos hospitalarios y similares. Colombia, 1996, p. 32.
- [37] El Congreso de Colombia, Ley 657 de Junio 7 de 2001 - Por la cual se reglamenta la especialidad médica de la radiología e imágenes diagnósticas y se dictan otras disposiciones. Colombia, 2001, p. 4.
- [38] Ministerio de Salud y Protección Social, Código Sustantivo del Trabajo. Adoptado por el Decreto Ley 2663 del 5 de agosto de 1950 “Sobre Código Sustantivo del Trabajo”, publicado en el Diario Oficial No 27.407 del 9 de septiembre de 1950. Colombia, 1950, p. 165.
- [39] Ministerio de Protección Social, Decreto 2090 de 2003 - Por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades. Colombia, 2003, p. 6.
- [40] Ministerio de Minas y Energía, Reglamentación en Materia Nuclear - Reglamento de protección y seguridad radiológica. [Online]. Disponible: <https://www.minminas.gov.co/reglamentacion-nuclear1>. [Accessed: 05-Jan-2019].
- [41] Ministerio de Minas y Energía, Resolución 18 1289 (6 de octubre de 2004) - Por la cual se establecen los requisitos para la obtención de licencia para la prestación del servicio de dosimetría personal. Colombia, 2004, p. 6.
- [42] Ministerio de Salud y Protección Social, Resolución No. 2003 DE 2014 (28 mayo) - Por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los Prestadores de Servicios de Salud y de habilitación de servicios de salud. Colombia, 2014, p. 225.
- [43] Ministerios de Minas y Energía, Circular No. 18 018 - Formato único para reporte a los

- usuarios de servicio de dosimetría en el territorio colombiano. 2009, p. 3.
- [44] S. O. Ose, “Using Excel and Word to Structure Qualitative Data,” *J. Appl. Soc. Sci.*, p. 16, 2016.
 - [45] I. Astuti and Y. B. Bhakti, “The Effect of the Microsoft Excel based Interactive Learning Media on the Physics Problem Solving,” *Indones. Rev. Phys.*, vol. 1, no. 1, 2018.
 - [46] M. AMELOT, *VBA Excel 2016 Programación en Excel: Macros y Lenguaje VBA*. Francia: Tous droits réservés – Copie personnelle de Rodolfo Montes Valdivia, 2016.